



TUGAS AKHIR - MN 141581

**KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS GERAKAN
(SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT “ORELA” DENGAN
VARIASI POSISI FOIL BELAKANG DI ARAH VERTIKAL**

**Marshall Boazyunus
NRP 4113100058**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS GERAKAN
(SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT “ORELA” DENGAN
VARIASI POSISI FOIL BELAKANG DI ARAH VERTIKAL**

**Marshall Boazyunus
NRP 4113100058**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL PROJECT - MN 141581

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF ORELA
CREWBOAT SEAKEEPING WITH VERTICAL POSITION
VARIATIONS**

**Marshall Boazyunus
NRP 4113100058**

**Supervisor(s)
Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS GERAKAN (SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT “ORELA” DENGAN VARIASI POSISI FOIL BELAKANG DI ARAH VERTIKAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MARSHALL BOAZYUNUS
NRP 4113100058

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc
NIP 19691231 200604 1 178

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JULI 2017

LEMBAR REVISI

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS GERAKAN (SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT "ORELA" DENGAN VARIASI POSISI FOIL BELAKANG DI ARAH VERTIKAL

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 6 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:


MARSHALL BOAZYUNUS
NRP 4113100058

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc.



2. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.

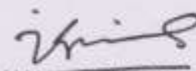


3. Ir. Budie Santosa, M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc




18/07/2017
randa

SURABAYA, JULI 2017

Dipersembahkan kepada Papa (Saut Manurung) dan Mama (Hotni Silalahi) dan adik – adikku (Madeline Rosmariana & Maestrya Rismaulita) tercinta untuk segala dukungan dan doanya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Tuhan Yesus Kristus
2. Papa dan Mama yang memberikan dorongan, motivasi dan semangat dan adik – adikku yang memberikan semangat dan keceriaan selama ini.
3. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Ir. Triwilaswandio W.P., M.Sc. dan Ir. Budie Santosa., M.T. dan Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
5. Prof. Ir. I Ketut Pria Utama, Ph.D selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
6. Bapak Chondro dan Bapak Rudy yang membimbing selama proses pengujian eksperimen di Laboratorium Hidrodinamika – FTK ITS.
7. Nastascha Lestari Eunike Silalahi yang selalu memberikan semangat, motivasi, dukungan selama perkuliahan ini.
8. Sulowes Siregar dan More Rise Tambunan serta Almarhum Niko Sihombing yang telah memberikan pertemanan yang erat selama perkuliahan ini.
9. Teman – teman Submarine P53, HIMATEKPAL serta PMK ITS yang telah memberikan semangat dan keceriaan selama perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2017

Marshall Boazyunus

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN NUMERIS GERAKAN (SEAKEEPING) KAPAL CREW BOAT “ORELA” DENGAN VARIASI POSISI FOIL BELAKANG DI ARAH VERTIKAL

Nama Mahasiswa : Marshall Boazyunus
NRP : 4113100058
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc

ABSTRAK

Kapal *crew boat* adalah kapal yang khusus untuk mengangkut pendukung – pendukung pengeboran lepas pantai seperti personil, bahan bakar, air minum dan instalasi lepas pantai seperti seperti *oil platform, drilling rigs*, dll. Kondisi lautan yang tidak menentu menuntut seorang ahli perkapalan untuk merancang kapal dengan gerakan (*seakeeping*) yang kecil. Penambahan *foil* belakang dapat mengurangi gerakan (*seakeeping*) kapal tersebut. Sehingga peneliti melakukan penelitian terhadap peletakan posisi *foil* belakang yang paling efisien untuk mengurangi gerakan (*seakeeping*) pada kapal *crew boat* Orela. Pengujian dilakukan pada peletakan posisi *foil* untuk kedalaman 0.75T, 1.0T dan 1.5T dari permukaan air, dimana T adalah sarat kapal tersebut. Peneliti menggunakan pemodelan numeris dan pengujian di *towing tank*. Pengujian di *towing tank* dilakukan pada periode 0.5 s sampai 1.7 s. *Software* yang digunakan untuk pemodelan numeris adalah Ansys Aqwa. Dari hasil penelitian tersebut, peletakan posisi *foil* belakang pada kedalaman 0.75T memberikan gerakan (*seakeeping*) paling baik dengan memberikan penurunan sebesar 14.99% untuk *heaving* dan 34.89% untuk *pitching* dan pada kecepatan 22 knot mengalami penurunan sebesar 3.374% untuk *heaving* dan 19.73% untuk *pitching*.

Kata kunci: *Seakeeping*, Ansys Aqwa, Respon gelombang.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF ORELA CREWBOAT SEAKEEPING WITH VERTICAL POSITION VARIATIONS

Author : Marshall Boazyunus
ID No. : 4113100058
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc

ABSTRACT

A crew boat is a vessel specialized in the transport of offshore support personnel, deck cargo such as fuel, water and from offshore installations such as oil platforms, drilling rigs etc. The ocean. The uncertain sea conditions require a ship designer to design a ship with good motion (seakeeping). The addition of foil can reduce the motion of the vessel. So, the researchers conducted research on the laying of the most efficient foil position to reduce the motion (seakeeping) on Orela crew boat. The research is performed on the laying of the foil position to a depth of $0.75T$, $1.0T$ and $1.5T$ from the water surface, where T is draft of the ship. Researchers use numerical modeling and experiment test. The experiment tests are carried out in the period of 0.5 s to 1.7 s. The software used for numerical modeling is Ansys Aqwa. From the results of this research, foil at a depth of $0.75T$ provides the best motion by providing 14.99% decrease for heaving and 34.89% for pitching when the ship is motionless and decreasing by 3.374% for heaving and 19.73% for pitching when the ships move in 22 knots.

Keywords: Seakeeping, Ansys Aqwa, Wave Response.

DAFTAR ISI

I.1.	Latar Belakang	1
I.2.	Perumusan Masalah.....	2
I.3.	Tujuan.....	2
I.4.	Batasan Masalah.....	2
I.5.	Manfaat.....	3
I.6.	Hipotesis.....	3
II.1.	Dasar Teori	5
II.1.1.	Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung.	5
II.1.2.	Arah Gelombang	8
II.1.3.	Frekuensi Gelombang Papasan.....	9
II.1.4.	Periode Natural	10
II.1.5.	Respon Amplitude Operator (RAO).....	11
II.1.6.	Spektrum Gelombang	11
II.1.7.	Respon Struktur Pada Gelombang Acak	12
II.2.	Tinjauan Pustaka	13
II.2.1.	Kapal dengan foil belakang (hull vane).....	13
II.2.2.	Tipe Aerofoil	16
II.2.3.	Software Ansys Aqwa	20
II.2.4.	3D Diffraction Theory	21
III.1.	Pendahuluan	24
III.2.	Bahan dan Peralatan	24
III.3.	Proses Pengerjaan.....	25
III.3.1.	Studi Literatur	25
III.3.2.	Data Kapal	25
III.3.3.	Pemodelan Kapal Crew Boat Orela	26
III.3.4.	Memodifikasi Lambung Badan Kapal dengan penambahan Foil Belakang...	27
III.3.5.	Menghitung gerakan kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan foil belakang pada kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T.....	27
III.3.6.	Membandingkan gerakan kapal crew boat Orela yang menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T.....	28
III.3.7.	Respon Bangunan Laut di Gelombang Acak.....	28
III.3.8.	Spesifikasi Komputer.....	29
III.4.	Lokasi Pengerjaan	29
III.5.	Bagan Alir	30
IV.1.	Pendahuluan	31
IV.2.	Simulasi Eksperimen.....	31
IV.2.1.	Pembuatan Foil Belakang Kapal.....	34
IV.2.2.	Prosedur Percobaan.....	35
IV.2.3.	Pemasangan Model Kapal	36
IV.2.4.	Kalibrasi Alat	37
IV.2.5.	Pengujian Eksperimen Seakeeping	38
IV.2.6.	Hasil pengujian Seakeeping dengan variasi kedalaman foil.....	39

V.1.	Pembuatan Model Lambung Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan software Maxsurf	40
V.1.1.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela	40
V.1.2.	Modifikasi Penambahan Foil Belakang pada kapal Crew Boat Orela dengan kedalaman yang sesuai	42
V.1.3.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T pada ANSYS AQWA	43
V.1.3.1.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5 T	43
V.1.3.2.	Proses pendefinisian model Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa	46
V.1.3.3.	Grid Independence Mesh	48
V.1.3.4.	Frekuensi gelombang dan Arah Gelombang	49
V.1.3.5.	Menghitung Transfer Fuction Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa	49
V.1.4.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T pada Ansys Aqwa	50
V.1.4.1.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T	50
V.1.4.2.	Proses pendefinisian model Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa	52
V.1.4.3.	Grid Independence Mesh	54
V.1.4.4.	Frekuensi gelombang dan Arah Gelombang	55
V.1.4.5.	Menghitung Transfer Fuction Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa	56
V.1.5.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T pada Ansys Aqwa	57
V.1.5.1.	Permodelan Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T	57
V.1.5.2.	Proses pendefinisian model Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa	59
V.1.5.3.	Grid Independence Mesh	61
V.1.5.4.	Frekuensi gelombang dan Arah Gelombang	62
V.1.5.5.	Menghitung Transfer Fuction Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa	63
VI.1.	Pendahuluan	65
VI.2.	Validasi Box	65
VI.2.1.	Respon Amplitude Operator (RAO)	67
VI.3.	Hasil Pengujian Eksperimen	69
VI.4.	Hasil Pengujian Aqwa	74
VI.5.	Validasi Hasil RAO (Respon Amplitude Operator) dari Pengujian Eksperimen dengan Hasil Pengujian Ansys Aqwa	79
VI.6.	Respons Kapal Crew Boat di gelombang acak	84
VI.6.1.	Spektrum Gelombang	84
VI.6.2.	Spektra Respons Heave dan Pitch Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T, 0.75T dan Tanpa foil	86
VI.6.3.	Perbandingan Kenaikan Heave dan Pitch signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan (H_s) untuk Kapal Crew Boat Orela yang menggunakan foil dengan kedalaman 1.5T, 1T, 0.75T dan tanpa foil	96
VII.1.	Kesimpulan	103
VII.2.	Saran	104
LAMPIRAN		

BIODATA PENULIS

Marshall Boazyunus Manurung, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 19 Maret 1995 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Mardi Yuana, kemudian melanjutkan ke SD Regina Pacis, SMP Regina Pacis dan SMAN 6 Bogor. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SBMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi koordinator Pengembangan Kompetensi PMK ITS 2016/2017, Koordinator Publingdekdok PKMBK-PMK ITS serta *staff* Departemen Hubungan Luar HIMATEKPAL 2015/2016.

Email: marshallbzyns@gmail.com

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 6 Derajat Kebebasan Kapal	5
Gambar II.2 Foil belakang (hull vane) yang dipasang pada kapal.....	14
Gambar II.3 Komponen gaya pada hull vane (Oossanen, 2016)	14
Gambar II.4 Wave Pattern sebelum dan sesudah pemasangan foil belakang (hull vane) (Oossanen, 2016)	15
Gambar II.5 Trim Correction pada kapal dengan foil belakang (Oossanen, 2016)	15
Gambar II.6 Pengurangan pitching yang di akibatkan oleh foil belakang (hull vane) (Oossanen, 2016)	16
Gambar II.7 Konstruksi Geometri Airfoil NACA	16
Gambar II.8 Lambung kapal terbagi menjadi panel - panel kecil.....	21
Gambar III.1 Sheer plan dan Half Breadth plan kapal crew boat Orela	26
Gambar III.2 Gambar body plan kapal crew boat Orela.....	26
Gambar III.3 Meshing kapal pada software Ansys Aqwa	28
Gambar IV.1 Input Gelombang dimasukan pada program Komputer yang langsung tersambung kepada kereta luncur dan wave maker	33
Gambar IV.2 Sketsa gambar gelombang yang diakibatkan oleh wave maker.....	34
Gambar IV.3 Foil NACA Series 64A212 dan Strut NACA Series 0010 (tampak depan)	35
Gambar IV.4 Pemasangan model kapal pada kereta.....	36
Gambar IV.5 Hasil Kalibrasi pada sensor/LVDT bagian depan.....	37
Gambar IV.6 Hasil kalibrasi pada sensor/LVDT bagian belakang.....	37
Gambar IV.7 Pengujian eksperimen seakeeping dengan amplitudo 1.2 cm dan periode gelombang 1.7 s dengan kedalaman foil belakang 0.75T	38
Gambar IV.8 Pengujian eksperimen seakeeping dengan amplitudo 1.2 cm dan periode gelombang 1.7 s dengan kedalaman foil belakang 1T	39
Gambar IV.9 Pengujian eksperimen seakeeping dengan amplitudo 1.2 cm dan periode gelombang 1.7 s dengan kedalaman foil belakang 1.5T	39
Gambar V.1 Model Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan foil dengan menggunakan software Maxsurf	42
Gambar V.2 Model Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan software Maxsurf menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T	42
Gambar V.3 Model Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan software Maxsurf menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T	43
Gambar V.4 Model Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan software Maxsurf menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T	43
Gambar V.5 Geometri Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil dengan kedalaman 1.5T ..	44
Gambar V.6 Translate Model Kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya.....	45
Gambar V.7 Slice pada geometri Kapal.....	45
Gambar V.8 Penentuan point mass dari kapal Crew Boat Orela	46
Gambar V.9 Generate mesh pada kapal Crew Boat Orela.....	47
Gambar V.10 Penentuan Wave Frequency pada Ansys Aqwa	49
Gambar V.11 Proses Solving pada Ansys Aqwa.....	50
Gambar V.12 Geometri Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil dengan kedalaman 1T...	51
Gambar V.13 Translate Model Kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya.....	51

Gambar V.14 Slice pada geometri Kapal	52
Gambar V.15 Penentuan point mass dari kapal Crew Boat Orela menggunakan foil dengan kedalaman 1T	53
Gambar V.16 Generate mesh pada kapal Crew Boat Orela	54
Gambar V.17 Penentuan Wave Frequency pada Ansys Aqwa	56
Gambar V.18 Proses Solving pada Ansys Aqwa	56
Gambar V.19 Geometri Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil dengan kedalaman 0.75T	57
Gambar V.20 Translate Model Kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya	58
Gambar V.21 Slice pada geometri Kapal	59
Gambar V.22 Penentuan point mass dari kapal Crew Boat Orela menggunakan foil dengan kedalaman 0.75T	60
Gambar V.23 Generate mesh pada kapal Crew Boat Orela	61
Gambar V.24 Penentuan Wave Frequency pada Ansys Aqwa	63
Gambar V.25 Proses Solving pada Ansys Aqwa	64
Gambar VI.1 Meshing Balok pada Ansys Aqwa	66
Gambar VI.2 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Surge	67
Gambar VI.3 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Sway.....	67
Gambar VI.4 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Heave	68
Gambar VI.5 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Roll.....	68
Gambar VI.6 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Surge Pitch.....	69
Gambar VI.7 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Yaw	69
Gambar VI.8 Hasil Perbandingan RAO Heave pada Kecepatan 0 Knot.....	71
Gambar VI.9 Hasil Perbandingan RAO Pitch dengan Kecepatan 0 Knot.....	72
Gambar VI.10 Hasil Perbandingan RAO Heave pada $F_n = 0.571$	73
Gambar VI.11 Hasil Perbandingan RAO Pitch $F_n = 0.571$	74
Gambar VI.12 Hasil perbandingan RAO Heave pada Kecepatan 0 Knot.....	75
Gambar VI.13 Hasil perbandingan RAO Pitch pada Kecepatan 0 Knot.....	76
Gambar VI.14 Hasil perbandingan RAO Heave pada kecepatan 22 knot.....	77
Gambar VI.15 Hasil perbandingan RAO Pitch pada kecepatan 22 knot.....	78
Gambar VI.16 Perbandingan hasil RAO Heave Ansys Aqwa dan Eksperimen pada kecepatan 0 Knot	79
Gambar VI.17 Perbandingan hasil RAO Pitch Ansys Aqwa dan Eksperimen pada kecepatan 0 knot	80
Gambar VI.18 Perbandingan hasil RAO Heave Ansys Aqwa dan Eksperimen pada $F_n = 0.5718$	81
Gambar VI.19 Perbandingan hasil RAO Pitch Ansys Aqwa dan Eksperimen pada Kecepatan 22 Knot	82
Gambar VI.20 Perubahan titik LCG Kapal	83
Gambar VI.21 Trim correction dengan foil belakang	84
Gambar VI.22 Wave Spectrum Kapal Crew Boat Orela.....	84
Gambar VI.23 Encounter Wave Spectrum Kapal Crew Boat Orela	85

Gambar VI.24 Spektra Respon Heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 22 knot.....	86
Gambar VI.25 Spektra Respon Pitch Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 22 knot	86
Gambar VI.26 Spektra Respon heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 0 knot	87
Gambar VI.27 Spektra Respon Pitch Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 0 knot	88
Gambar VI.28 Spektra Respon Heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 22 knot.....	88
Gambar VI.29 Spektra Respon Pitch Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 22 knot.....	89
Gambar VI.30 Spektra Respon heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 0 knot.....	90
Gambar VI.31 Spektra Respon pitch Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 0 knot.....	90
Gambar VI.32 Spektra Respon Heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T pada kecepatan 22 knot.....	91
Gambar VI.33 Spektra Respon Pitch Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T pada $F_n = 0.5718$	92
Gambar VI.34 Spektra Respon Heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T pada kecepatan 0 knot.....	92
Gambar VI.35 Spektra Respon pitch Kapal Crew Boat Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T pada kecepatan 0 knot.....	93
Gambar VI.36 Spektra Respon heave Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan foil belakang pada kecepatan 22 knot.....	94
Gambar VI.37 Spektra Respon Pitch Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan foil belakang pada kecepatan 22 knot.....	94
Gambar VI.38 Spektra Respon heave Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan foil belakang pada kecepatan 0 knot.....	95
Gambar VI.39 Spektra Respon pitch Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan foil belakang pada kecepatan 0 knot.....	96
Gambar VI.40 RMS Heave sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan pada kecepatan 0 knot.....	97
Gambar VI.41 RMS Pitch sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan pada kecepatan 0 knot	98
Gambar VI.42 RMS Heave sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan pada kecepatan 22 knot.....	99
Gambar VI.43 Persebaran gaya yang di akibatkan oleh foil belakang sesuai dengan peletakkannya.....	100
Gambar VI.44 RMS Pitch sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan (H_s) pada kecepatan 22 knot.....	100

DAFTAR TABEL

Table II.1 Table keuntungan dan kerugian pada foil.....	19
Table IV.1 Data perbandingan kapal dengan model kapal pada sarat 1.7 m dengan skala 1:40	31
Table IV.2 Variasi yang digunakan pada pengujian seakeeping di Laboratorium Hidrodinamika	33
Table IV.3 Dimensi foil dan strut.....	34
Table IV.4 Ukuran towing tank.....	35
Table V.1 Validasi Hidrostatik Crew Boat Orela Maxsurf dengan Kapal Sesungguhnya.....	41
Table V.2 Data Hidrostatik Kapal Crew Boat Orela pada setiap posisi kedalaman foil.....	41
Table VI.1 Konversi Parameter Model ke Parameter Kapal Sebenarnya (Full Scale Vessel) .	70
Table VI.2 Hasil Konversi Periode Model dengan Periode Full Scale Vessel	70
Table VI.3 Hasil konversi periode full scale dengan frekuensi encounter full scale	71

DAFTAR SIMBOL

F_0	= gaya eksitasi
M_0	= momen eksitasi
ω	= frekuensi eksitasi
t	= waktu
Θ	= sudut gerakan pitching
M_{jk}	= matriks massa dan momen inersia masa bangunan laut
A_{jk}	= matriks koefesien – koefesien masa tambah hidrodinamik
B_{jk}	= matriks koefesien – koefesien redaman hidrodinamik
K_{jk}	= matriks koefesien – koefesien kekauan atau gaya dan momen hidrostatik
F_1	= gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan <i>surge</i>
F_2	= gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan <i>sway</i>
F_3	= gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan <i>heave</i>
F_4	= momen eksitasi yang menyebabkan gerakan <i>roll</i>
F_5	= momen eksitasi yang menyebabkan gerakan <i>pitch</i>
F_6	= momen eksitasi yang menyebabkan gerakan <i>yaw</i>
Te	= Periode Encountering
ω_e	= Frekuensi Encountering (rad/sec)
V_w	= Kecepatan gelombang (m/s)
L_w	= Panjang gelombang (m)
T_z	= periode Natural <i>Heaving</i>
T_θ	= periode Natural <i>Pitching</i>
T_ϕ	= periode natural <i>Rolling</i>
A_w	= Luas permukaan <i>waterplan</i>
A_{33}	= <i>added mass heaving</i>
A_{44}	= momen inersia <i>added mass rolling</i>
A_{55}	= momen inersia <i>added mass pitching</i>
GM	= tinggi metasentrik melintang awal
GML	= tinggi mentasentrik memanjang
∇	= <i>volume displacement</i>
ρ	= massa jenis air
g	= percepatan gravitasi
k_{xx}	= radius girasi terhadap sumbu-x
k_{yy}	= radius girasi terhadap sumbu-y
$X_p(\omega)$	= amplitudo struktur
$\eta(\omega)$	= amplitudo gelombang
ω_w	= frekuensi gelombang
A	= $8.10 \times 10^{-3} g^{-2}$
B	= $3.11 \times 10^4 / (H)^2_{1/3}$
$((H)_{1/3})$	= <i>significant wave height</i> (m)
S_r	= spektrum respon ($m^2 - sec$)
$S(\omega)$	= spektrum gelombang ($m^2 - sec$)
$RAO(\omega)$	= <i>transfer function</i>

X_j	= amplitudo gerakan struktur
M_{kj}	= matriks inersia struktur
A_{kj}	= matriks koefisien <i>added mass</i>
B_{kj}	= matriks koefisien <i>damping</i>
C_{kj}	= koefisien inersia statis
F_{kj}	= amplitudo <i>wave exciting force</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Salah satu aplikasi hidrodinamika yang berpangkal dari interaksi antara fluida dan benda padat adalah masalah (*Seakeeping*). Kondisi lautan yang tidak ramah pada saat – saat tertentu dapat mengakibatkan kapal tidak melakukan aktivitas berlayarnya. Hal tersebut merupakan tantangan bagi seorang ahli perkapalan untuk merancang kapal yang efisien dalam pengoperasiannya. Salah satu permasalahannya adalah soal gerakan (*Seakeeping*) yakni meliputi gerak *heave*, *pitch*, *surge*, *yaw*, *sway* dan *roll*. Pada kenyataan, kapal dilaut bebas dapat mengalami keenam gerakan sekaligus.

Dengan meningkatkan permintaan kapal – kapal dengan berkecepatan tinggi, Salah satunya adalah kapal *Crewboat*. Dimana perlu desain khusus pada kapal tersebut agar dapat beroperasi secara optimal dari segi hambatan maupun olah gerak (*Seakeeping*). Pada kapal *hydrofoil*, *foil* digunakan untuk menambahkan gaya angkat sehingga volume kapal yang tercelup air dapat berkurang, hal tersebut dapat berpengaruh positif dalam segi hambatan maupun olah gerak kapal (*Seakeeping*). Dengan ditambahkan *foil* pada bagian belakang kapal, diharapkan hambatan kapal yang terjadi akibat gaya gesek antara lambung kapal yang tercelup dengan air akan berkurang pada saat lambung kapal mulai terangkat akibat gaya angkat yang dihasilkan *foil*, selain itu trim yang terjadi pada kapal dapat minimalisir dan juga dapat mereduksi gelombang yang dihasilkan oleh lambung kapal. *Foil* memberikan efek meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan ditambahkan. Setelah lambung kapal terangkat dari air sampai batas maksimum, gaya angkat yang diperlukan konstan.

Setiap kapal pada umumnya memiliki karakteristik masing – masing dalam olah geraknya. Maka peneliti ingin membandingkan pengaruh *seakeeping* dari kapal dengan menggunakan variasi posisi foil belakang.

I.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, dapat diperoleh perumusan masalah dari Tugas Akhir yang diusulkan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *foil* belakang terhadap olah gerak (*Seakeeping*) Kapal *Crewboat* Orela?
2. Bagaimana pengaruh posisi peletakan *foil* belakang di arah vertikal?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mempelajari pengaruh penggunaan *foil* belakang terhadap gerakan (*seakeeping*) dari kapal *crew boat*.
- Mempelajari pengaruh posisi pelatakan *foil* belakang di arah vertikal terhadap gerakan (*seakeeping*) kapal *crew boat*.

I.4. Batasan Masalah

Penyusunan tugas akhir ini memerlukan batasan – batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan. Batasan – batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

- *Foil* yang digunakan merupakan desain *foil* NACA *Series* 64a212 dan Strut Naca 0010
- Kondisi *Seakeeping* yang diperhatikan hanya *heaving* & *pitching* dikarenakan keterbatasan fasilitas Laboratorium Hidrodinamika ITS.
- Kecepatan maksimum *towing tank* Laboratorium Hidrodinamika ITS untuk model kapal ini pada sarat 4.25 cm adalah 24 Knot.
- Variasi posisi vertikal *foil* belakang yang di uji adalah 0.75T , 1T dan 1.5T dibawah permukaan air, dimana T adalah sarat kapal tersebut.
- Tidak dilakukannya perhitungan *damping coefficient* dan *added mass* akibat perubahan posisi *foil*.
- Tidak dilakukan pengukuran tinggi gelombang pada kapal dan dianggap sama dengan tinggi gelombang yang dibuat oleh *wave maker*.

I.5. Manfaat

Dari penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- Dapat menjadi pertimbangan dalam mendesain kapal tanpa dan dengan menggunakan *foil* belakang serta dalam peletakan posisi *foil* belakang di arah vertikal.
- Dapat digunakan sebagai acuan dalam memperhitungkan pengaruh *Seakeeping* kapal tanpa dan dengan *foil* belakang serta peletakan posisi *foil* belakang di arah vertikal.

I.6. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini antara lain;

- Pemasangan *foil* belakang akan mengurangi gerakan (*Seakeeping*) dari kapal *Crew Boat Orela*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

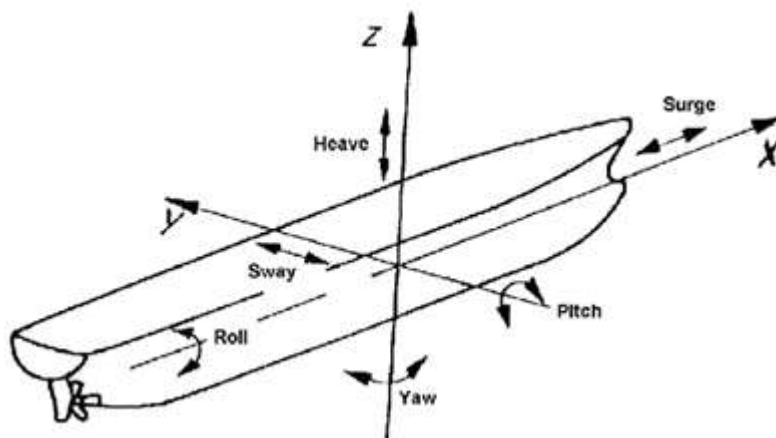
STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

II.1.1. Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung.

Struktur bangunan apung mempunyai enam model gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu tiga model gerakan translasional dan tiga model gerakan rotasional. Keenam moda gerakan tersebut adalah:

1. Model gerakan translasi
 - a. *Surge*, gerakan translasional arah sumbu x
 - b. *Sway*, gerakan translasional arah sumbu y
 - c. *Heave*, gerakan translasional arah sumbu z
2. Model gerakan rotasional
 - a. *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
 - b. *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
 - c. *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z



Gambar II.1 6 Derajat Kebebasan Kapal

Model gerakan tersebut dapat dilihat penjelasannya pada Gambar II.1, dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z

adalah masing – masing *surge*, *sway*, dan *heave*, sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll*, *pitch* dan *yaw*.

Setiap gerakan memiliki sebuah persamaan umum, yang ada di dalamnya terdapat beberapa komponen, dituliskan pada persamaan (2.1) dibawah ini

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_0 \cdot \cos \omega t \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

a = *total mass (ship mass plus added mass)*

b = koefisien damping

c = restoring force

F₀ = gaya eksitasi

Z = perpindahan

ω = frekuensi eksitasi

t = waktu

Persamaan diatas menggambarkan gerakan heaving dan disebut sebagai *Forced heaving motion*. Untuk gerakan translasi lainnya, persamaan tersebut dapat diterapkan dengan merubah sumbu axis gerakan terhadap x dan y, dimana a adalah *virtual mass* (masa kapal ditambah dengan added mass), b adalah koefisien damping (gaya melawan arah gerakan), c adalah koefisien *restoring force* (gaya pengembali ke titik seimbang), dan F₀ adalah *existing force/encountering force* atau gaya luar yang bekerja pada benda, jika kapal berada pada kondisi air tenang (*calm water*) maka nilai F₀ adalah nol.

Sedangkan untuk gerakan *rotational*, persamaan dasar yang dipakai tetap sama, hanya merubah variable gerakan dari translasi (jarak) menjadi sudut dan gaya menjadi moment seperti di tuliskan persamaan (2.2) dibawah ini untuk gerakan pitching.

$$a \frac{d^2 \theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + c\theta = M_0 \cos \omega_\theta t \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

a = moment inersia gerakan pitch

b = moment damping

c = restoring moment

M_0 = momen eksitasi

θ = sudut gerakan pitching

ω = frekuensi eksitasi

t = waktu

Dengan asumsi bahwa gerakan osilasi adalah linear dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopelnya dapat dituliskan pada persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\zeta_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{-i\omega t}; j, k = 1, \dots, 6 \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana:

M_{jk} = matriks massa dan momen inersia masa bangunan laut

A_{jk} = matriks koefisien – koefisien masa tambah hidrodinamik

B_{jk} = matriks koefisien – koefisien redaman hidrodinamik

K_{jk} = matriks koefisien – koefisien kekauan atau gaya dan momen hidrostatik

F_j = matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)

F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*

F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*

F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*

F_4 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*

F_5 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*

F_6 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*

Persamaan 2.3 diatas jelas menunjukan hubungan antara gaya aksi dan reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukan oleh suku – suku disebalah kiri persamaan, yang terjadi dari gaya inersia dan gaya pengembali, yang masing – masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau displacement gerakan. Dengan

menyelsaikan persamaan gerak ini di dapatkan hasil karakteristik gerakan bangunan laut. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik dimana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_1 dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi ω dari sumber eksitasi. Informasi gerakan ini dinamakan Respon Amplitude Operator (RAO)

II.1.2. Arah Gelombang

Bangunan laut berada pada lokasi operasinya, baik dalam mode stasioner, diam ditempat, maupun dalam mode melaju dengan kecepatan untuk berpindah – pindah lokasi, akan menghadapi gelombang yang dapat berpropagasi dari berbagai arah. Dalam hal bangunan laut mempunyai konfigurasi – konfigurasi bola atau silinder tunggal dengan distribusi massa yang seragam, sehingga dapat dipandang sebagai benda simetri dari berbagai arah, maka secara idealnya gelombang yang datang dari manapun menimbulkan efek gerakan yang kurang lebih sama. Namun demikian kebanyakan bangunan laut tidaklah mempunyai bentuk yang simetri menyeluruh. Dengan demikian perbedaan arah eksitasi gelombang akan mempunyai dampak intensitas gerakan yang berbeda – beda dalam ke-6 derajat kebebasannya. Perbedaan intensitas tersebut jelas terjadi karena perbedaan pola aliran yang timbul di medan fluida sekitar benda. Sebagai konsekuensinya efektifitas variable – variable pada persamaan 2.3 yakni gelombang insiden, gelombang difraksi, masa tambah, redaman dan kekauan akan bervariasi. Menyadari hal ini maka pentinglah untuk mendefinisikan faktor arah gelombang.

Dari banyak referensi mengenai teori gerakan bangunan laut dapatlah disimpulkan suatu konvensi umum, bahwa arah gelombang (μ) didefinisikan sebagai sudut antara arah propagasi gelombang dengan arah laju bangunan laut. Selanjutnya arah gelombang (μ) sebesar 0° ditetapkan bila arah propagasi gelombang adalah sama dengan arah melajunya bangunan laut. Sebaliknya bila arah propagasi gelombang berlawanan dengan arah laju bangunan laut, maka ditetapkan sebagai (μ) = 180° . Dengan kata lain (μ) = 0° adalah sama dengan gelombang yang datang dari arah buritan bangunan laut, sedangkan (μ) = 180° adalah gelombang yang dapat dari arah haluan. Mengikuti kedua definisi tersebut mudalah kemudian ditetapkan bahwa sudut gelombang (μ) = 90° dan (μ) = 270° adalah bila datang dari arah sisi – sisi tegak lurus terhadap sumbu memanjang bangunan laut. Sampai disini jelaslah bahwa bangunan laut berada bahwa jika bangunan laut berada dalam mode stasioner atau

tanpa gerakan melaju, arah gelombang dapat ditinjau dengan mengacu pada arah buritan ataupun haluannya.

II.1.3. Frekuensi Gelombang Papasan

Dalam fenomena pergerakan kapal, gerakan kapal ke depan atau sebaliknya yang dipengaruhi gelombang ketika dipandang oleh seseorang yang berada di dalam kapal jika kapal tersebut membuat gerakan di laut dengan kecepatan konstan, maka gelombang akan muncul untuk kapal itu sendiri pada tingkat lebih cepat daripada aktual frekuensi gelombang laut yang dihadapinya. Frekuensi yang diamati tersebut disebut *encounter frequency*. Seperti halnya gelombang, *encouter frequency* terdiri dari periode *encounter* (T_e), yaitu sama dengan waktu yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dari satu puncak gelombang ke puncak gelombang lainnya. Periode *encouter* merupakan fungsi dari periode gelombang (T), kecepatan kapal (V), dan sudut *encounter* (μ). Periode encounter ini menunjukkan bagaimana kapal berhadapan dengan gelombang dan pengaruh apa yang ditimbulkannya. Pada kebanyakan perhitungan kapal periode *encouter* ini digunakan sebagai ganti periode gelombang. Sudut hadap (*heading angle*) (μ) adalah sudut antara gerakan gelombang dengan lintasan kapal, yang diukur dari arah gelombang searah dengan jarum jam. Dalam ilustrasinya dapat diperlihatkan sebagai berikut:

$$T_e = \frac{L_w}{V_w - V \cos \mu} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\omega_e = \omega_w \left(1 - \frac{\omega_w V}{g} \cos \mu\right) \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan

T_e = Periode encounter (s)

L_w = Panjang gelombang (m)

V_w = Kecepatan gelombang (m/s)

V = Kecepatan kapal (m/s)

ω_e = Frekuensi encounter (rad/s)

ω_w = Frekuensi gelombang (rad/s)

g = 9.80655 (m/s)

II.1.4. Periode Natural

Pada kondisi ideal dimana suatu sistem bergerak tanpa menerima redaman (damping), maka bila pada sistem tersebut diberikan simpangan dan kemudian dilepaskan, sistem tersebut akan berosilasi terus dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi selama satu detik. Periode adalah kebalikan dari frekuensi yaitu waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* terpendek pada suatu getaran. Dalam hal demikian, yang dinamakan sistem tak teredam atau undamped maka frekuensi geraknya adalah disebut frekuensi natural dan periodenya disebut periode natural (Djarmiko, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, 2012)

Frekuensi dan periode natural gerakan penting untuk diketahui pada suatu sistem dinamis yang bergerak dalam mode osilasi, seperti bangunan apung ataupun kapal di atas gelombang. Pemahaman tentang frekuensi natural akan memberikan acuan bagi perancang, pada tahap perancangan atau operator pada tahap pengoperasian, untuk menghindari terjadinya resonansi akan menjadi respon, gerakan bangunan apung dalam hal ini menjadi berlebihan dan selanjutnya tentunya akan membahayakan tingkat keselamatan dari bangunan laut tersebut.

Pada bangunan mengapung bebas tanpa pengikatan contohnya kapal, hanya akan ada tiga mode gerakan yang mempunyai frekuensi natural, yakni pada model *heave*, *roll* dan *pitch*. Sedangkan mode lainnya (*sway*, *yaw*, *surge*) tidak mempunyai frekuensi natural, karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali (Djarmiko, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, 2012). Periode natural *heaving*, *pitching* dan *rolling* sebagaimana di jelaskan pada (Bhattacharya, 1978) dapat dihitung dibawah ini :

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{\rho \nabla + A_{33}}{\rho g A_w}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$T_\theta = 2\pi \sqrt{\frac{\rho \nabla k^2_{yy} + A_{55}}{\rho g A_w G_{ML}}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$T_\phi = 2\pi \sqrt{\frac{\rho \nabla k^2_{xx} + A_{44}}{\rho g \nabla G_m}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana

T_z = periode Natural *Heaving*

T_θ = periode Natural *Pitching*

T_ϕ = periode natural *Rolling*

A_w	= Luas permukaan <i>waterplan</i>
A_{33}	= <i>added mass heaving</i>
A_{44}	= momen inersia <i>added mass rolling</i>
A_{55}	= momen inersia <i>added mass pitching</i>
G_M	= tinggi metasentrik melintang awal
G_{ML}	= tinggi metasentrik memanjang
∇	= <i>volume displacement</i>
ρ	= massa jenis air
g	= percepatan gravitasi
k_{xx}	= radius girasi terhadap sumbu-x
k_{yy}	= radius girasi terhadap sumbu-y

II.1.5. Respon Amplitude Operator (RAO)

Respon Amplitude Operator (RAO) merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. RAO dapat didefinisikan sebagai persamaan (2.9) :

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

RAO dapat diilustrasikan sebagai grafik perbandingan amplitudo respon dengan amplitudo gelombang terhadap frekuensi gelombang.

II.1.6. Spektrum Gelombang

Dalam perancangan struktur bangunan apung, idealnya informasi karakteristik gelombang untuk lingkungan dimana struktur akan dioperasikan harus lengkap tersedia. Contohnya bila perairan tersebut berada di Indonesia, kita dapat melihat informasi gelombang tersebut Meskipun demikian, belum semua daerah lautan di dunia dilakukan observasi gelombangnya. Untuk kebutuhan perancangan maka spektra gelombang dari lokasi lain dengan kondisi yang mirip biasanya diambil. Bila informasi inipun tidak tersedia maka dapat dipakai formula spektra gelombang. Salah satunya yaitu formulasi ITTC, formulasi tersebut

memberikan energi spektrum gelombang sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan, $H_{1/3}$ dan frekuensi karakteristik. *International Towing Tank Conference* (ITTC) merupakan penelitian mengenai standar spektrum gelombang. Formula spektrum gelombang IITC adalah sebagai berikut:

$$S(\omega_w) = \left(\frac{8.10 \times 10^{-3} g^{-2}}{\omega_w^5} \right) e^{\frac{-2.11 \times 10^4 / H_s}{\omega_w^4}} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$S(\omega_e) = S(\omega_w) \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{4\omega_e V}{g} \right) \cos \mu}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

ω_w = Frekuensi gelombang

H_s = Significant wave height (m)

II.1.7. Respon Struktur Pada Gelombang Acak

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen pembentuknya berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah yang tak terhingga. Tiap – tiap komponen gelombang memiliki tingkat energi tertentu yang dikontribusikan dan secara keseluruhan dapat diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang. (Djarmiko, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, 2012)

Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon di definisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari RAO (*Response Amplitude Operator*) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung atau kapal tersebut beroperasi. Persamaan spektrum respon secara matematis dapat dituliskan sebagai :

$$S_r = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

S_r = Spektrum respon

$S(\omega)$ = Spektrum gelombang

$RAO(\omega)$ = Transfer function

ω = Frekuensi gelombang (rad/sec)

Setelah spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan dibawah kurva spektrum respon atau merupakan variasi elevasi gerakan, yaitu sebagai berikut;

$$m_{r0} = \int_0^\phi S_\zeta(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.12)$$

$$m_{r2} = \int_0^\phi \omega^2 S_\zeta(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.13)$$

$$m_{r4} = \int_0^\phi \omega^4 S_\zeta(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.14)$$

Variasi m_{r0} diistilahkan sebagai luasan dibawah kurva spektra respon, momen kedua luasan dibawah kurva spektra m_{r2} dan momen keempat luasan dibawah kurva spektra respon m_{r4} . Dengan demikian momen spektra dapat diberikan dalam bentuk umum (Djarmiko, Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak, 2012):

$$m_N = \int_0^\phi \omega^N S_\zeta(\omega) d\omega \dots\dots\dots (2.15)$$

Berdasarkan persamaan 2.13, jika diturunkan akan didapatkan harga – harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan m_{r0} , yaitu misalnya sebagai RMS of Motion yang merupakan harga gerakan signifikan dapat dihitung sebagai:

$$RMS_{1/3} = 4.0 \sqrt{m_{r0}} \dots\dots\dots (2.16)$$

II.2. Tinjauan Pustaka

II.2.1. Kapal dengan *foil* belakang (*hull vane*)

Bentuk *aerofoil* atau *airfoil* merupakan suatu geometri yang apabila ditempatkan pada suatu aliran fluida, maka akan menghasilkan gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*) pada kecepatan tertentu.

Pemasangan *foil* pada bagian belakang kapal bertujuan untuk memberikan gaya *lift* pada bagian buritan kapal yang bertujuan untuk mengurangi WSA (*wetted surface area*) pada kapal dan mengakibatkan berkurangnya hambatan dari kapalt tersebut.

Pengoperasian *foil* belakang ini juga harus dilakukan dengan kecepatan tinggi dan dan juga gaya *lift* yang diakibatkan pada kecepatan tersebut harus sesuai dengan berat topang yang dirancang pada buritan kapal.

Foil belakang (*hull vane*) ini juga mengurangi gaya vertikal yang terjadi pada dek kapal yang menjadi penyebab utama dari mabuk laut. Perangkat ini juga mengurangi gerakan *pitching* dan *heaving* pada kapal srta mengurangi hambatan kapal yang terjadi akibat gerakan – gerakan kapal tersebut.

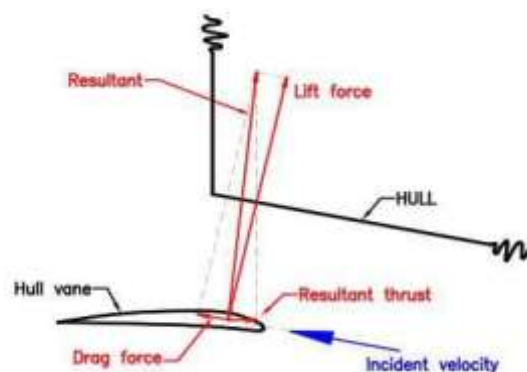
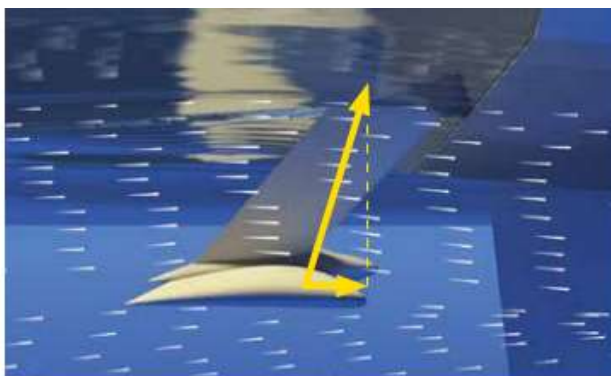


Gambar II.2 *Foil* belakang (*hull vane*) yang dipasang pada kapal

Foil belakang ini merupakan penemuan baru yang sudah di patenkan oleh Dr. Ir. Peter van Oossanen dengan nama *Hull Vane*. *Hull Vane* ini merupakan *energy saving device* atau penghemat bahan bakar dengan type *fixed angle* yang ditempatkan pada bagian buritan kapal karena gaya angkat yang diciptakan. Hal dari pemasangan ini dapat mengurangi hambatan total kapal. Performasa dari *foil* belakang ini tergantung dari beberapa faktor diantaranya panjang kapal, kecepatan dan bentuk lambung pada bagian buritan kapal.

Foil belakang ini memberikan beberapa efek antara lain:

1. Gaya Dorong

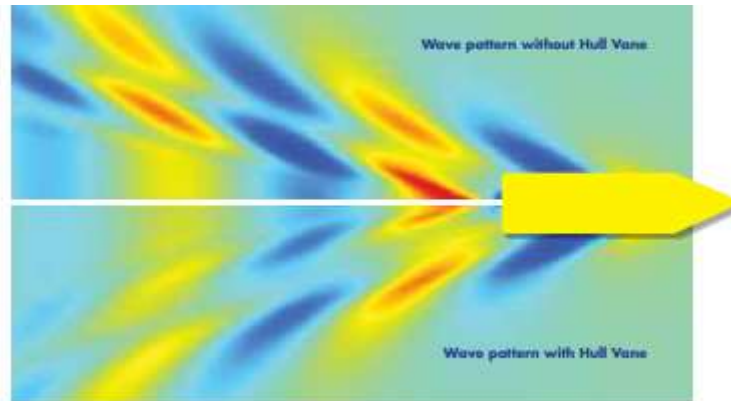


Gambar II.3 Komponen gaya pada *hull vane* (Oossanen, 2016)

Foil belakang (*hull vane*) memperoleh energi dari aliran dekat buritan kapal. Gaya angkat yang dihasilkan itu memberikan gaya resultan yang akhirnya mendorong kapal untuk bergerak kedepan.

2. Mengurangi hambatan gelombang

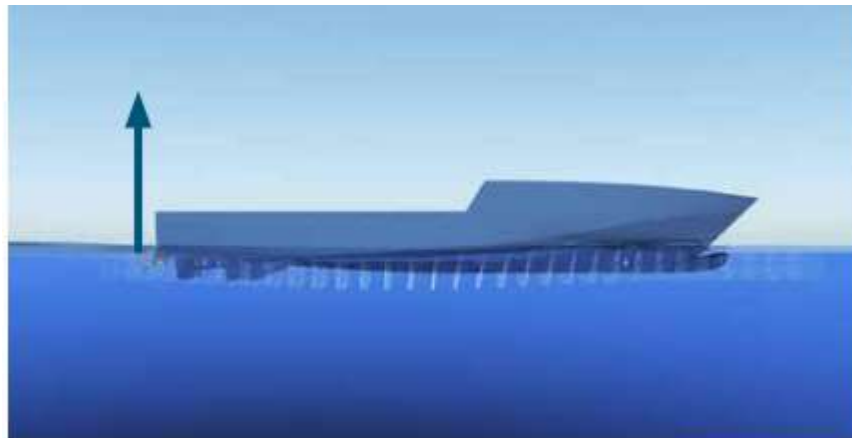
Seiring dengan menambahnya kecepatan kapal dengan menggunakan *foil* belakang ini maka gelombang pada bagian buritan kapal bisa berkurang. Dengan berkurangnya gelombang pada bagian buritan kapal ini, maka hambatan total kapal bisa bekurang dan bisa meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada kapal.



Gambar II.4 Wave Pattern sebelum dan sesudah pemasangan *foil* belakang (*hull vane*) (Oossanen, 2016)

3. Koreksi trim

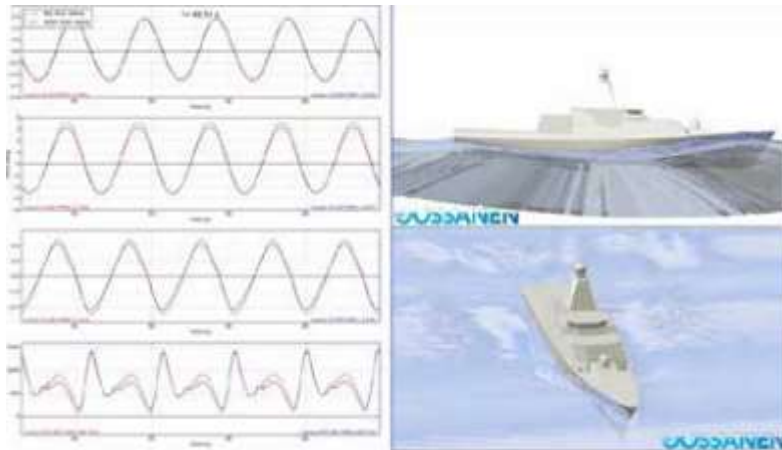
Pada kapal – kapal yang berlayar dengan kecepatan tinggi cenderung memberikan *trim* pada kapal. Dengan penambahan *foil* belakang ini maka kondisi tersebut bisa diatasi karena *foil* belakang ini memberikan gaya angkat yang menjaga kapal tetap dan kondisi *even keel*.



Gambar II.5 *Trim Correction* pada kapal dengan *foil* belakang (Oossanen, 2016)

4. Mengurangi pitching

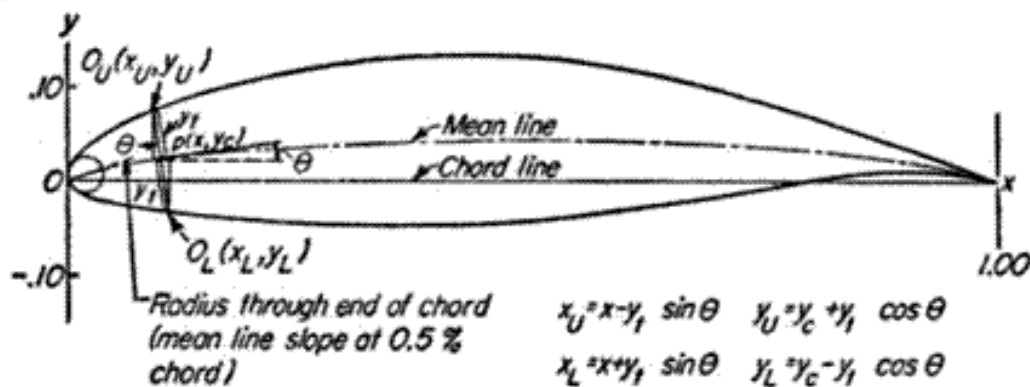
Gaya angkat yang diberikan oleh *foil* belakang pada bagian buritan kapal ini memberikan efek untuk koreksi trim yang juga berefek pada pengurangan *pitching* kapal. Pada saat kapal berlayar dengan kondisi perairan yang bergelombang, *foil* belakang ini memberikan gaya *damping* yang mengurangi olah gerak kapal diarah memanjang kapal. Pengurangan *pitching* pada kapal ini juga berguna untuk peningkatan kenyamanan pada penumpang dan awak kapal.



Gambar II.6 Pengurangan pitching yang di akibatkan oleh foil belakang (*hull vane*) (Oossanen, 2016)

II.2.2. Tipe Aerofoil

NACA Airfoil adalah bentuk airfoil sayap pesawat udara yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Sampai sekitar Perang Dunia II, airfoil yang banyak digunakan adalah hasil riset Gottingen. Selama periode ini banyak pengujian airfoil dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset NACA lah yang paling terkemuka. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain.



Gambar II.7 Konstruksi Geometri Airfoil NACA

Airfoil yang saat ini umum digunakan sangat dipengaruhi oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh NACA ini.

1. NACA Seri Empat Digit

Naca seri 4 digit merupakan seri dari *airfoil* yang didesain pertama sekali. Sebuah *airfoil* NACA misalkan saja NACA 2412, maka:

- Angka 2 pertama menunjukkan persentase dibagi 100 dari besar *camber* terhadap panjang *chord*, yaitu 0.02 atau 2 %.
- Angka 4 menunjukkan persentase dibagi 10 dari letak *camber* maksimum diukur dari *leading edge*, yaitu 0.4 atau 40 % dari panjang *chord*.
- Angka 12 menunjukkan persentase dibagi 100 dari ketebalan maximum terhadap panjang *chord*, yaitu 0.12 atau 12 %

2. NACA Seri Lima Digit

NACA seri lima digit menggunakan bentuk ketebalan yang sama dengan seri empat digit namun garis mean chamber didefinisikan secara berbeda dan konvensi penamaan sedikit lebih kompleks. Sebuah *airfoil* misalkan NACA 23012, maka:

- Angka 2 pertama menunjukkan besarnya *coefficient lift* desain dikali 3/20. Angka 2 pertama adalah 2 jadi *coefficient lift*nya adalah $2 \times 3/20$, maka $cl=0.3$.
- Angka 3 menunjukkan persentase dibagi 20 dari letak *camber* maksimum diukur dari *leading edge* yaitu 3/20 atau 15 % dari panjang *chord*.
- Angka 0 menunjukkan jenis dari *camber line*. 0 = *normal camber line*, 1 = *reflex camber line*
- Angka 12 menunjukkan persentase dibagi 100 dari ketebalan maximum terhadap panjang *chord*, yaitu 0.12 atau 12 % .

3. NACA 1-Series atau 16-Series

Berbeda dengan jenis *airfoil* yang lain, jenis *airfoil* ini dikembangkan berdasarkan teori *airfoil*. Metode dasar yang digunakan untuk mendesain *airfoil* ini adalah dengan mentargetkan distribusi tekanan yang akan terjadi dari *airfoil*, misalkan NACA 16-212:

- Angka 1 menunjukkan bahwa seri ini digunakan untuk daerah dengan aliran cepat (*supersonic flow*)
- Angka 6 menunjukkan persentase dibagi 10 dari letak tekanan minimum (*minimum pressure*) yaitu 60 % diukur dari *leading edge*.
- Angka 2 pertama menunjukkan besar dari *coefficient lift* yaitu 0.2
- Angka 12 menunjukkan persentase dibagi 100 dari ketebalan maximum terhadap panjang *chord*, yaitu 0.12 atau 12 %.

4. NACA 6-Series

Walaupun sudah dilakukan pengembangan terhadap NACA seri 4 dan 5, masih belum ada jenis *foil* yang memproduksi perilaku *airfoil* yang diinginkan. NACA seri 6 ini merupakan pengembangan dari seri 1, misalkan NACA 64₁-212:

- Angka 6 pertama menunjukkan bahwa jenis NACA ini didesain untuk mendapatkan aliran laminar yang lebih besar dari jenis *airfoil* yang lain.
- Angka 4 persentasi dibagi 10 dari letak tekanan minimum (*minimum pressure*) yaitu 40 % diukur dari *leading edge*.
- Subskrip 1 menunjukkan bahwa gaya drag terendah didapat pada saat *lift coefficient* nya 0.1 diatas atau dibawah dari *coefficient lift* desain.
- Angka 2 menunjukkan besarnya *coefficient lift* desain dibagi 10.
- Angka 12 menunjukkan persentasi dibagi 100 dari ketebalan maximum terhadap panjang *chord*, yaitu 0.12 atau 12 %.

5. NACA 7-Series

NACA seri 7 merupakan pengembangan lanjutan yang dilakukan untuk mendapatkan daerah laminar pada *airfoil* dan lokasi dari tekanan minimum pada permukaan atas dan bawah, misalkan NACA 747A315:

- Angka 7 pertama menunjukkan seri *airfoil*, yaitu NACA seri 7.
- Angka 4 menunjukkan letak dari tekanan minimum pada permukaan atas (*upper surface*) dibagi 10 terhadap panjang *chord* yaitu 40 % dari *leading edge*.
- Angka 7 ketiga menunjukkan letak dari tekanan minimum pada permukaan bawah (*lower surface*) dibagi 10 terhadap panjang *chord* yaitu 70 % dari *leading edge*.
- Huruf A menunjukkan bahwa *airfoil* memiliki bentuk *camber* dan ketebalan yang berbeda.
- Angka 2 menunjukkan besarnya *coefficient lift* desain dibagi 10.
- Angka 16 menunjukkan persentasi dibagi 100 dari ketebalan maximum terhadap panjang *chord*, yaitu 0.16 atau 16 %.

6. NACA 8-Series

NACA seri 8 merupakan pengembangan dari NACA seri 6 dan 7 yang didesain khusus untuk kecepatan tinggi. Sama seperti yang diterapkan pada NACA seri 6 dan 7, desain dari NACA seri 8 ini diharapkan memberikan aliran laminar *upper* dan *lower surface* dari *airfoil*, misalkan NACA 835A216:

- Angka 8 pertama menunjukkan seri *airfoil*, yaitu NACA seri 8.
- Angka 3 menunjukkan letak dari tekanan minimum pada permukaan atas (*upper surface*) dibagi 10 terhadap panjang *chord* yaitu 30 % dari *leading edge*.
- Angka 5 ketiga menunjukkan letak dari tekanan minimum pada permukaan bawah (*lower surface*) dibagi 10 terhadap panjang *chord* yaitu 50 % dari *leading edge*.

- Huruf A menunjukkan bahwa *airfoil* memiliki bentuk *camber* dan ketebalan yang berbeda.
- Angka 2 menunjukkan besarnya *coefficient lift* desain dibagi 10.
- Angka 16 menunjukkan persentasi dibagi 100 dari ketebalan maximum terhadap panjang *chord*, yaitu 0.16 atau 16 %.

Table II.1 Table keuntungan dan kerugian pada *foil*

Tipe <i>Foil</i>	Keuntungan	Kerugian	Aplikasi
4-Digit	1. Karakteristik stall baik. 2. Gerakan tekanan di rentang kecepatan besar 3. Kekasaran memiliki pengaruh yang kecil	1. Koefisien <i>lift</i> rendah. 2. <i>Drag</i> relative tinggi 3. <i>Pitching</i>	1. Penerbangan 2. Supersonic jet 3. <i>Shrouds</i> 4. Rudal/Roket
5-Digit	1. Koefisien <i>lift</i> maksimum lebih tinggi. 2. saat <i>pitching</i> rendah. 3. Kekasaran memiliki pengaruh yang kecil.	1. Perilaku <i>stall</i> jelek 2. <i>Drag</i> relative tinggi	1. Penerbangan umum 2. Komuter 3. Jet Bisnis
16-Series	1. Menghindari puncak tekanan rendah. 2. <i>Drag</i> rendah dengan kecepatan tinggi	1. <i>Lift</i> relatif rendah	1. Baling-baling pesawat. 2. Baling-baling kapal.
6-Series	1. Koefisien <i>lift</i> maksimum tinggi. 2. <i>Drag</i> yang sangat rendah pada kondisi operasi rentang kecil. 3. Dioptimalkan untuk kecepatan tinggi.	1. <i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum. 2. <i>Pitching</i> tinggi 3. Karakteristik <i>stall</i> jelek 4. Sangat rentan terhadap kekasaran.	1. Piston bertenaga 2. Jet Bisnis 3. <i>Jet Trainers</i> 4. Jet Supersonic
7-Series	1. <i>Drag</i> yang sangat rendah pada rentang kondisi operasi kecil 2. <i>Pitching</i> rendah	1. Mengurangi koefisien <i>lift</i> maksimum 2. <i>Drag</i> tinggi pada kondisi operasi rentang maksimum 3. Karakteristik <i>stall</i> Jelek 4. Sangat rentan terhadap kekasaran	Jarang digunakan
8-Series	Tidak detail	Tidak diketahui	Sangat jarang digunakan

II.2.3. Software Ansys Aqwa

Ansys aqwa memberikan fasilitas terintegrasi untuk mengembangkan parameter hidrodinamika, terutama yang diperlukan untuk melakukan gerakan yang kompleks dan juga analisis respon. Pembuatan model dapat dilakukan dengan *Ansys Design Modeler* yang terintegrasi dengan aplikasi Ansys Aqwa. Sebagai sistem terintegrasi untuk melakukan analisa hidrodinamik dan mooring. Secara fungsional Ansys Aqwa dapat dibagi menjadi 6 operasi antara lain:

- Difraksi/Radiasi
- Stabilitas awal statis dan dinamis termasuk dampak sistem mooring dan koneksi fisik lainnya.
- Frekuensi domain analisis dinamis
- Domain waktu dengan gelombang teratur atau tidak teratur amplitudo besar
- Transfer beban hidrodinamik untuk analisis elemen hingga struktur

Selain fasilitas opsional untuk konfigurasi kabel mooring tersedia juga analisis statis dan dinamis (baik dalam frekuensi dan waktu domain) untuk memberikan pemodelan yang lebih bagus dari respon sistem kapal dan mooring, terutama di perairan dalam.

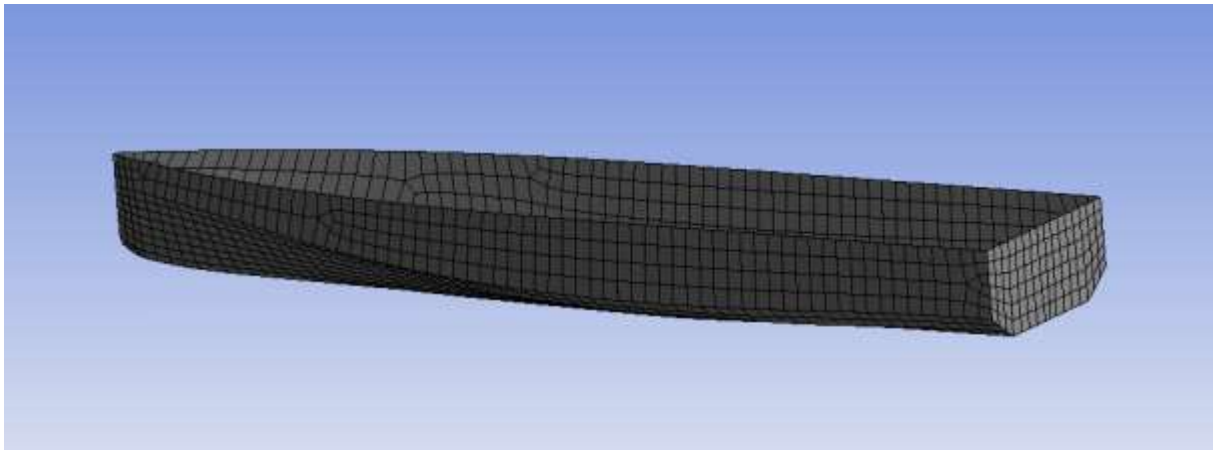
Untuk bentuk lambung kapal besar Ansys Aqwa membutuhkan deskripsi bentuk lambung. Sebuah panel diskritisasi standard lambung digunakan dalam tahap radiasi / difraksi simulasi (dan mungkin juga dapat digunakan dalam pemecah berikutnya, seperti solusi domain waktu statis dan dinamis).

Untuk bentuk kapal yang lebih umum Ansys Design Modeler dapat digunakan baik untuk menghasilkan geometri secara langsung atau mengimpor geometri dari berbagai sistem cad seperti Autocad, Maxsurf, dll. Geometri ini kemudian dapat di import ke Ansys Aqwa untuk dilakukan analisis difraksi hidrodinamik. Output dari Ansys Aqwa bisa dijadikan input untuk pembebanan dalam perhitungan *finite elemen* pada aplikasi Ansys Mechanical maupun analisa mooring yang lebih insentif di Orcaflex.

Dengan berpedoman pada proses numerik *3D Diffraction*, Ansys Aqwa mampu mempredisikan olah gerak bangunan laut tanpa dibatasi oleh kondisi bentuk dari model. Berbeda dengan *strip theory* yang memiliki pendekatan secara 2D, *3D Diffraction* melakukan perhitungan secara 3D berdasarkan permukaan surface dari model.

II.2.4. 3D Diffraction Theory

Metode ini digunakan untuk menganalisa gerakan struktur dengan bentuk sembarang, baik terapung bebas maupun dengan *mooring system*. Permukaan struktur dibagi ke dalam N panel yang cukup kecil sehingga diasumsikan gaya – gaya hidrodinamis yang bekerja adalah sama di tiap panel, seperti yang terlihat pada Gambar II.3



Gambar II.8 Lambung kapal terbagi menjadi panel - panel kecil

Selanjutnya, sebuah persamaan dibentuk sehingga kecepatan potensial dapat diperoleh. Pada kondisi tenang, persamaan kecepatan potensial total akibat pengaruh kecepatan U adalah sebagai berikut:

$$\phi(x, y, z; t) = [-U_x + \phi_s(x, y, z)] + \phi_r(x, y, z) e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana x , y dan z menyatakan arah (sistem koordinat). Wave exciting force yang bekerja pada tiap panel dihitung dengan formula berikut:

$$F_{kj} = \rho \int_{S_b} [\omega_s^2 X_j (\phi_{jc} + i\phi_{js}) + i\omega_s U X_j \frac{\partial}{\partial j} (\phi_{jc} + i\phi_{js})] n_k ds \dots\dots\dots (2.18)$$

Sehingga gerak struktur dapat dihitung dengan persamaan matrik berikut:

$$X_j^0 = F_k^0 [\sum_{j=1}^6 -\omega_s^2 (M_{kj} + A_{kj}) - i\omega_s B_{kj} + C_{kj}]^{-1} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana;

X_j : Amplitudo gerakan struktur

M_{kj} : Matriks inersia struktur

A_{kj} : Matriks koefisien *added mass*

B_{kj} : Matriks koefisien *damping*

C_{kj} : Koefisien inersia statis

F_{kj} : Amplitudo *wave exciting force*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

III.1. Pendahuluan

Pada bab sebelumnya yaitu BAB II, membahas tentang dasar teori – teori yang akan digunakan pada BAB III ini. Adapun BAB III ini membahas tentang metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada penelitian ini dan mendapatkan tujuan yang diinginkan sebagaimana yang sudah disampaikan pada BAB I. Penjelasan pada BAB ini meliputi langkah – langkah yang dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Ansys Aqwa dan divalidasi dengan pengujian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika – FTK ITS.

III.2. Bahan dan Peralatan

Adapun bahan dan peralatan yang digunakan pada tugas akhir ini terbagi menjadi 2 yaitu bahan & peralatan untuk pengujian eksperimen dan pengujian numeris.

Untuk pengujian numeris, bahan dan peralatan berupa *software* dan data – data yang telah dimiliki oleh penulis sebelumnya, adapun *software – software* yang digunakan antara lain:

1. Maxsurf

Software ini digunakan dalam pembuatan lambung kapal *crew boat* Orela, dimana kapal tersebut akan digunakan pada Ansys Aqwa

2. Ansys Aqwa

Software ini digunakan untuk menghitung besar dari RAO (*Response Amplitude Operator*) dari kapal *crew boat* Orela.

Selanjutnya adalah bahan dan peralatan yang digunakan untuk pengujian eksperimen, bahan dan peralatan yang digunakan antara lain;

1. Alat

- a. Gerinda
- b. Penggaris
- c. Busur
- d. Kertas Pasir (Amplas)

2. Bahan

- a. *Acrylic*
- b. Dempul
- c. Lem G
- d. Triplek
- e. Jepitan Kertas
- f. Isolasi Kertas
- g. Cat Kaleng

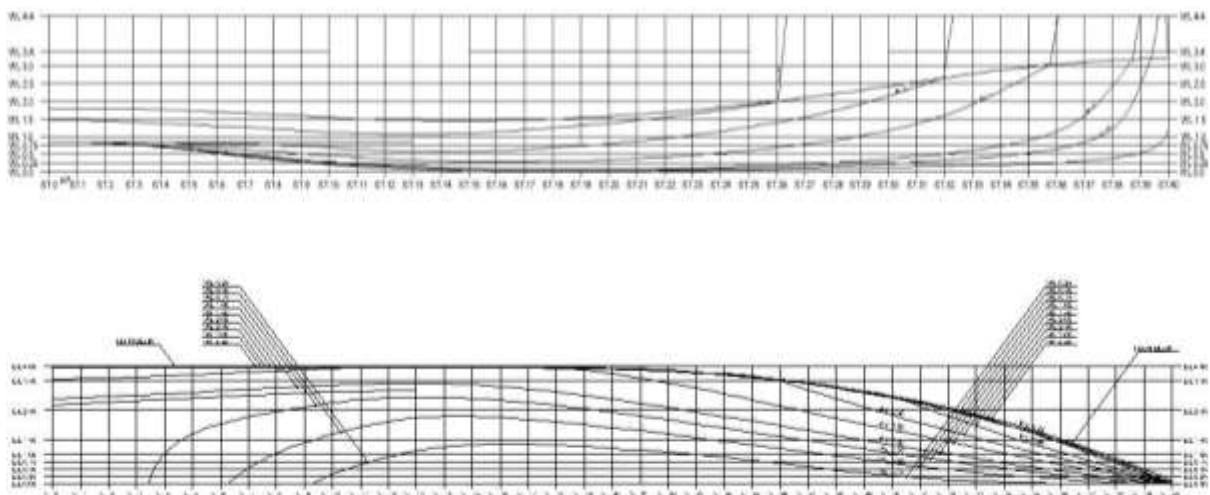
III.3. Proses Pengerjaan

III.3.1. Studi Literatur

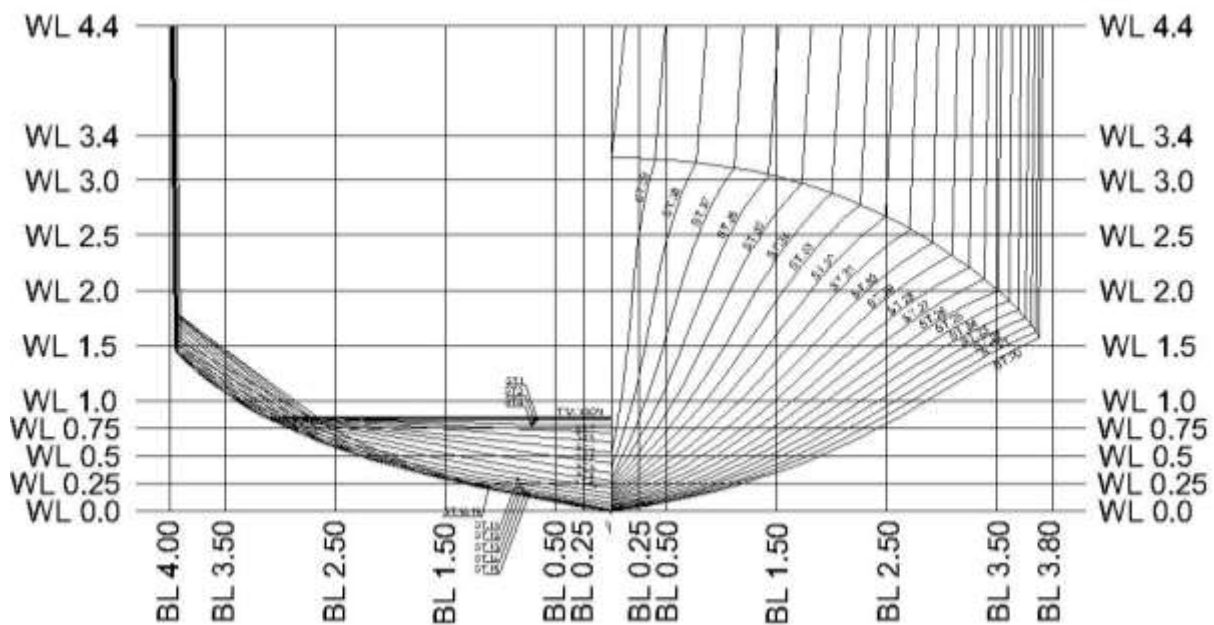
Tahap pertama pada tugas akhir ini adalah studi literatur, dimana studi literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi – informasi mengenai kapal *crew boat* Orela. Selain informasi mengenai kapal *crew boat* Orela, tahap ini juga bertujuan untuk mencari teori, konsep dan rumur (persamaan) yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Pada tugas akhir ini menggunakan perhitungan numerik pada penyelesaiannya, dimana *software* Ansys Aqwa merupakan salah satu *software* yang digunakan pada tugas akhir ini. Oleh karena itu, perlu diketahui bagaimana cara kerja dan teori dari program tersebut, input yang dibutuhkan untuk menjalankan program serta output yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Sehingga peneliti dapat mengeluarkan dugaan awal hasil penelitian tersebut.

III.3.2. Data Kapal

Data Kapal yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini di ambil dari perusahaan PT. Orela Shipyard. Data kapal berupa Lines Plan, data Hidrostatik kapal dimana data – data tersebut sangat dibutuhkan pada saat dilakukan uji tarik pada Laboratorium Hidrodinamika – FTK ITS maupun pengujian numeris menggunakan *software* Ansys Aqwa.



Gambar III.1 *Sheer plan* dan *Half Breadth plan* kapal crew boat Orela



Gambar III.2 Gambar *body plan* kapal crew boat Orela

III.3.3. Pemodelan Kapal Crew Boat Orela

Membuat bentuk lambung kapal yang akan digunakan sebagai *input* pada program Ansys Aqwa dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf . Maxsurf membuat model lambung kapal yang terdiri dari beberapa *surface* dengan fitur 3D NURB (*non-uniform rational B-spline*).

Adapun model kapal *crew boat* Orela yang digunakan untuk pengujian eksperimen *Seakeeping* sudah dibuat di Laboratorium Hidrodinamika – FTK ITS.

III.3.4. Memodifikasi Lambung Badan Kapal dengan penambahan *Foil* Belakang

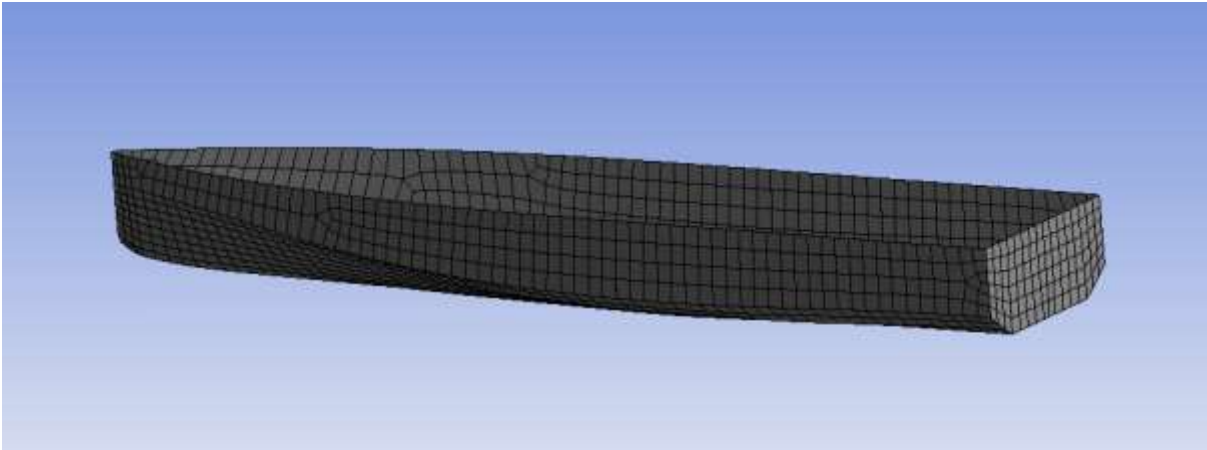
Setelah membentuk lambung kapal *crew boat* Orela dengan menggunakan *lines plan* yang telah didapatkan, langkah selanjutnya adalah menambahkan *foil* belakang pada kapal *crew boat* Orela dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T. Adapun jenis *foil* yang digunakan adalah NACA 64A212 dan untuk strut yang digunakan adalah NACA 0010. Dimana pemilihan *foil* tersebut dilakukan pada penelitian (Hidayat, 2016).

Untuk pengujian numeris modifikasi penambahan *foil* belakang pada kapal *crew boat* Orela dilakukan menggunakan *software* Maxsurf, dimana dilakukan penambahan beberapa *surface* pada lambung kapal *crew boat* Orela dan disesuaikan dengan ukuran *foil* belakang yang digunakan.

Penambahan *foil* belakang pada model kapal *crew boat* Orela juga dilakukan di pengujian eksperimental, dengan menambahkan *foil* belakang dan strut berbahan *acrylic*.

III.3.5. Menghitung gerakan kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang pada kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T.

Pada analisa respons perilaku gerak kapal *crew boat* Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T pada gelombang reguler, output yang dikeluarkan adalah RAO (*Response Amplitude Operator*) yang merupakan respon bangunan laut di gelombang sinusoidal untuk himpunan *heading waves* dan periode gelombang. Perhitungan numeris menggunakan *software* Ansys Aqwa berdasarkan teori difraksi 3-D untuk memecahkan permasalahan gerakan (*Seakeeping*) kapal. Dimana bagian – bagian kapal dibagi kedalam panel – panel yang sering disebut sebagai *mesh* seperti yang terlihat pada Gambar III.2



Gambar III.3 *Meshing* kapal pada *software* Ansys Aqwa

Input yang harus dimasukkan pada *software* ini frekuensi gelombang, *waveheading*, dan kedalaman perairan. Selain itu terdapat input yang dapat dimasukkan secara opsional yaitu *reference length*, percepatan gravitasi, kepadatan massa air, point of mass, point of bouyancy.

Pengujian gerakan kapal *crew boat* Orela ini juga dilakukan dengan metode eksperimen, dimana output yang akan keluar dari pengujian tersebut adalah RAO (*Response Amplitude Operator*). Uji tarik pada Laboratorium Hidrodinamika – FTK ITS akan dilakukan pada frekuensi gelombang, setengah tinggi gelombang (amplitudo) dan variasi sudut kapal yang sudah di tentukan sebelumnya.

III.3.6. Membandingkan gerakan kapal *crew boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T

Setelah mendapatkan RAO (*Response Amplitude Operator*) kapal *crew boat* Orela yang menggunakan *foil* dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T dari kedua pengujian yaitu pengujian numeris dan pengujian eksperimen. Perbandingan dilakukan untuk melakukan validasi, agar hasil yang didapatkan dapat dikatakan valid.

III.3.7. Respon Bangunan Laut di Gelombang Acak

Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapat energi pada struktur gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari RAO (*Response Amplitude Operator*) dengan spektrum gelombang.

Setelah spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan dibawah kurva spektrum respon akan didapatkan harga – harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan.

III.3.8. Spesifikasi Komputer

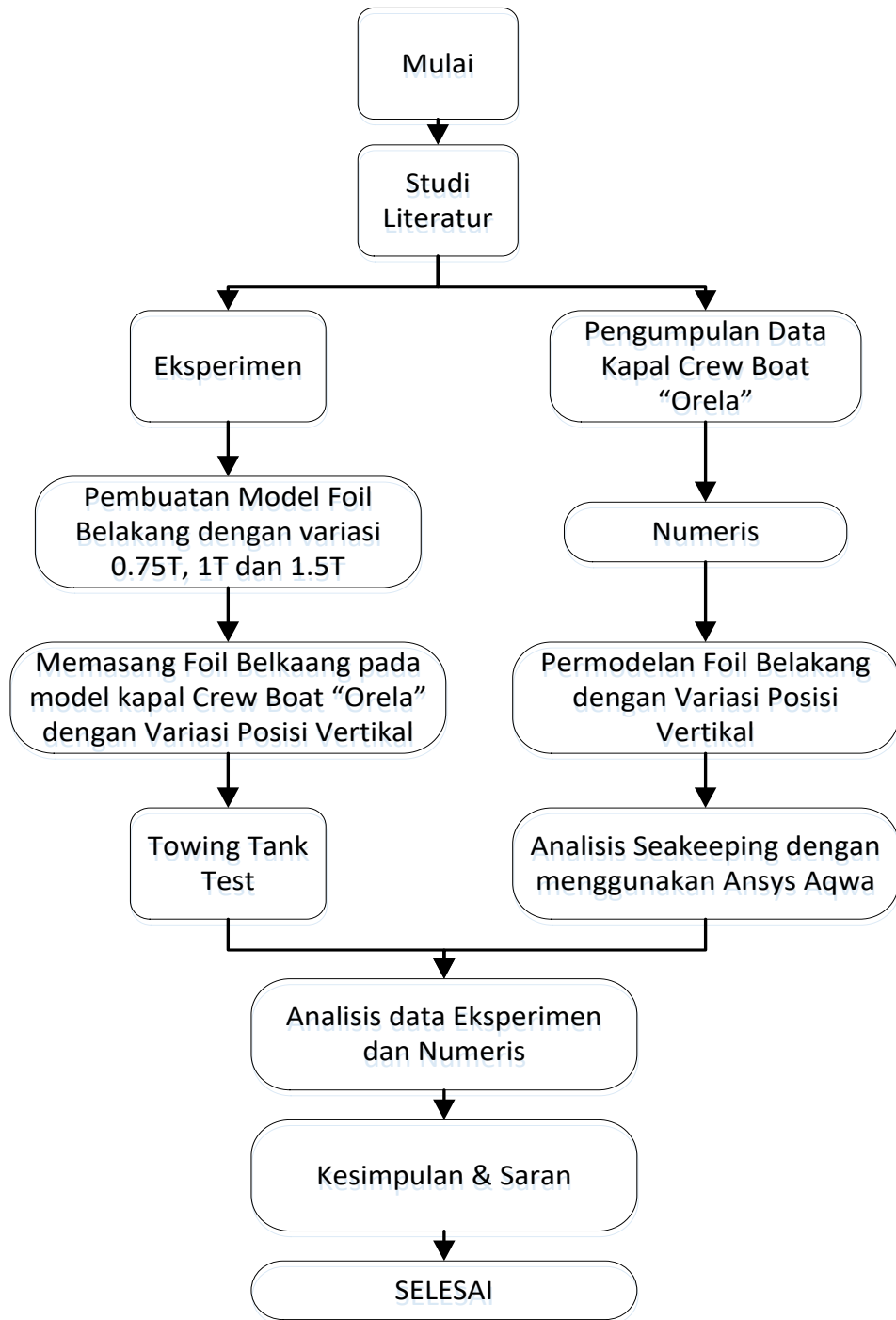
Dalam mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan menggunakan *software* Ansys Aqwa, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses running dapat berjalan dengan cepat dan tepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis adalah;

1. Processor : Intel(R) Core(TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz (4 CPUs), ~2.4GHz
2. Installed Memory (RAM) : 4096MB
3. System Type : 64-bit Operating System
4. Operating System : Windows 10 Enterprise (64-bit) © Microsoft Corporation All right reserved

III.4. Lokasi Pengerjaan

1. Laboratorium Hidrodinamika ITS
2. Laboratorium Desain ITS

III.5. Bagan Alir



BAB IV

PENGUJIAN SEAKEEPING DI TOWING TANK

IV.1. Pendahuluan

Pada Bab III sebelumnya, telah di jabarkan bahwa penelitian Seakeeping ini menggunakan percobaan eksperimen. Pada Bab IV ini akan dijelaskan bagaimana melakukan percobaan eksperimen *crew boat* Orela untuk kemudian di analisa gerakan *seakeeping* dari kapal tersebut. Prosedur mulai dari pembuatan model sampai dengan percobaan akan di jelaskan pada bab ini.

IV.2. Simulasi Eksperimen

Untuk menentukan gerakan (*seakeeping*) pada pengujian towing tank, maka telah di buat model kapal cepat milik PT Orela Shipyard dengan panjang keseluruhan (LOA) 40 m (dengan skala 1 : 40 dengan kapal sesungguhnya) yang terbuat dari bahan *fiberglass reinforced plastic* (FRP) yang sudah dilapisi cat dan resin.

Berikut merupakan data partikular kapal pada sarat 1.7 m ;

Table IV.1 Data perbandingan kapal dengan model kapal pada sarat 1.7 m dengan skala 1:40

Dimensi Partikular	Kapal Asli	Model Tanpa Foil	Model dengan Foil 1.5T	Model dengan Foil 1.0T	Model dengan Foil 0.75T
LOA	40.00 m	1.00 m	1.03 m	1.03 m	1.03 m
LPP	39.90 m	0.99 m	0.99 m	0.99 m	0.99 m
B	8.00 m	0.20 m	0.20 m	0.20 m	0.20 m
H	3.40 m	0.08 m	0.08 m	0.08 m	0.08 m
T	1.70 m	0.04 m	0.04 m	0.04 m	0.04 m
WSA	287.24 m ²	0.1795 m ²	0.1959 m ²	0.1944 m ²	0.1937 m ²
Displacement	242.716 ton	3.7924 kg	3.7970 kg	3.7955 kg	3.7947 kg

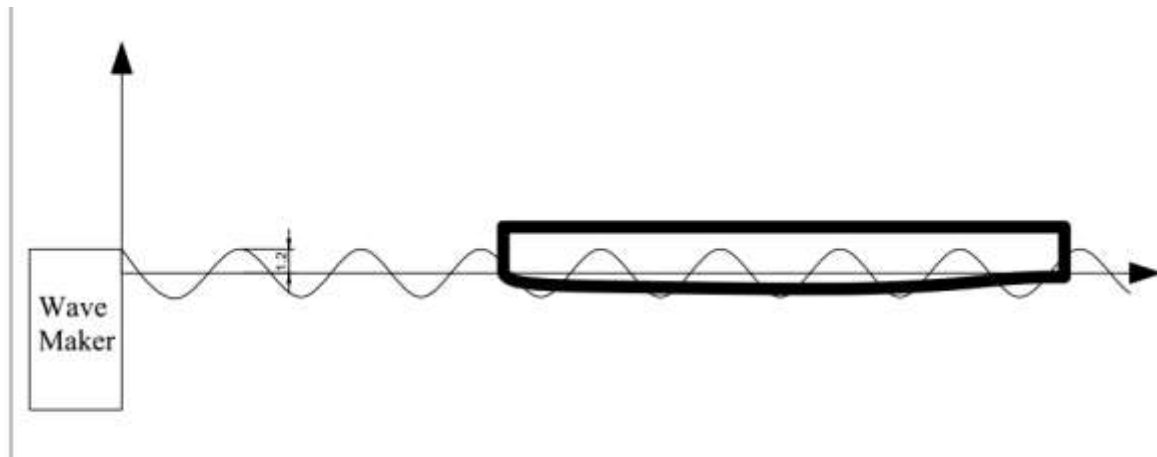
Adapun pada pengujian eksperimen ini, menggunakan variasi periode gelombang (s), setengah tinggi gelombang/amplitudo (m), *heading angle* ($^{\circ}$), dan kecepatan kapal (knot) sebagai berikut:

Table IV.2 Variasi yang digunakan pada pengujian seakeeping di Laboratorium Hidrodinamika

Periode (s)	Amplitudo (cm)	<i>Heading Angle</i> ($^{\circ}$)	Kecepatan (knot)
0.5	1.2	180	0
0.7			
0.9			
1.1			22
1.3			
1.5			
1.7			



Gambar IV.1 Input Gelombang dimasukan pada program Komputer yang langsung tersambung kepada kereta luncur dan *wave maker*



Gambar IV.2 Sketsa gambar gelombang yang diakibatkan oleh *wave maker*

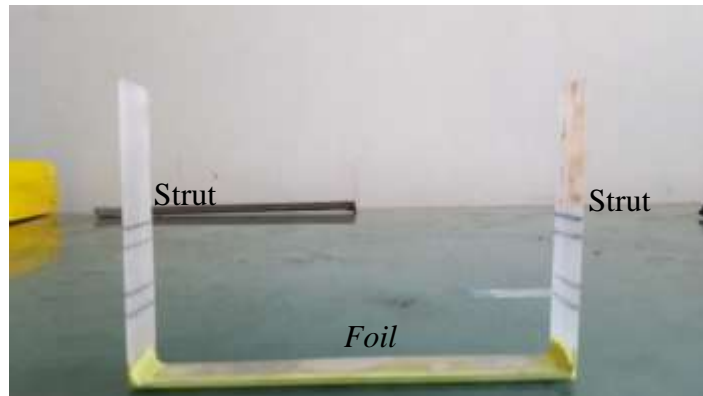
Tinggi gelombang dan kecepatan kereta diatur oleh program komputer, dimana program tersebut tersambung ke alat pembuat gelombang (*wave maker*) seperti yang terlihat pada Gambar IV.1. Pada Tugas Akhir ini tidak dilakukan penghitungan tinggi gelombang yang terjadi pada model kapal.

Table IV.3 Dimensi *foil* dan *strut*

	<i>Foil</i>	Strut		
		1.5 T	1 T	0.75 T
Area (cm ²)	0.683	0.6157	0.6157	0.6157
Span(cm)	20	6.375	4.25	3.1875
Volume(cm ³)	13.66	3.9251	2.6167	1.9625
Berat(kg)	0.0161	0.0046	0.0031	0.0023

IV.2.1. Pembuatan Foil Belakang Kapal

Foil belakang kapal terbuat dari bahan *acrylic*, dimana dalam pembuatan foil tersebut menggunakan ukuran yang telah di uji sebelumnya. (Hidayat, 2016) Adapun jenis foil yang digunakan adalah foil NACA Series 64A212 dan foil yang digunakan untuk strut adalah NACA Series 0010.



Gambar IV.3 Foil NACA Series 64A212 dan Strut NACA Series 0010 (tampak depan)

IV.2.2. Prosedur Percobaan

Percobaan model kapal ini dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika - FTK ITS. Adapun ukuran tangki percobaan yang digunakan ada pengujian ini adalah sebagai berikut :

Table IV.4 Ukuran *towing tank*

Parameter	(m)
Panjang	50.0
H	2.0
B	3.0
T	1.8

Pengujian ini menggunakan kereta penarik model dimana pada kereta penarik tersebut terdapat 4 buah motor listrik linier yang memungkinkan dicapainya kecepatan konstan yang diinginkan dengan waktu yang relatif singkat sehingga tersedia waktu pengukuran yang cukup sebelum kereta berhenti pada ujung tangki atau kolam. Selama percobaan, model kapal ditarik oleh kereta dengan mempergunakan poros vertikal yang dilengkapi sensor yang sering disebut LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) yang biasanya digunakan untuk mengukur simpangan yang didapatkan selama pengujian dilakukan, dimana terdapat dua sensor/LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) yang diletakkan dibagian depan kapal dan bagian belakang kapal untuk mengetahui besarnya simpangan yang terjadi di kedua sensor tersebut dapat diketahui pada saat uji tarik dengan gelombang reguler tertentu.

Model kapal juga harus di ukur stabilitasnya terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan dengan menyesuaikan peletakan ballast pada saat model kapal berada di air dan di udara (digantung pada titik berat kapal). Hal ini bertujuan untuk membuat kapal tetap berada pada posisi yang sesuai walaupun dengan kondisi puncak gelombang yang berbeda – beda, dengan kata lain ballast yang digunakan pada kapal tidak mempengaruhi kondisi gerakan kapal.

IV.2.3. Pemasangan Model Kapal

Kapal yang telah siap untuk diuji diletakkan pada posisi center line yang terlihat seperti Gambar IV.2

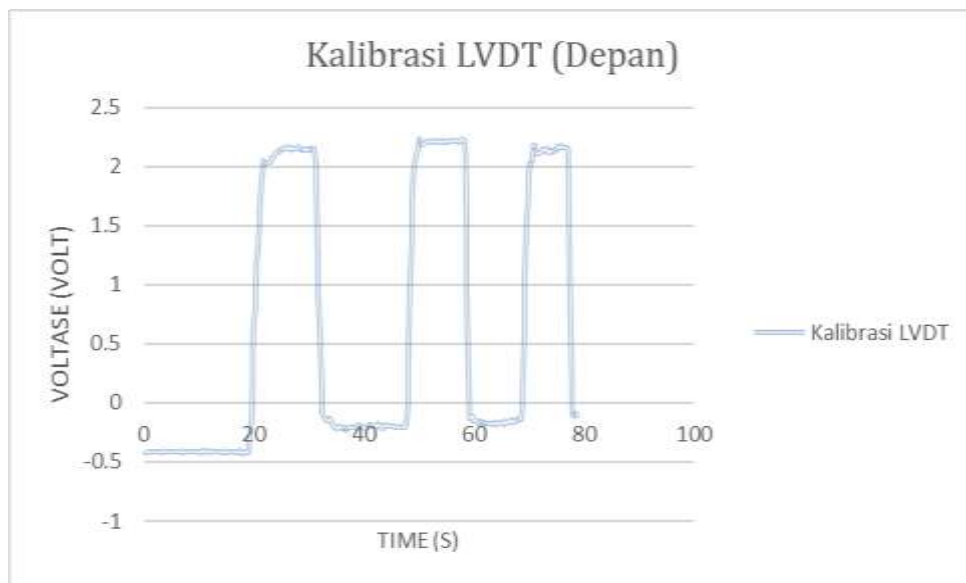


Gambar IV.4 Pemasangan model kapal pada kereta

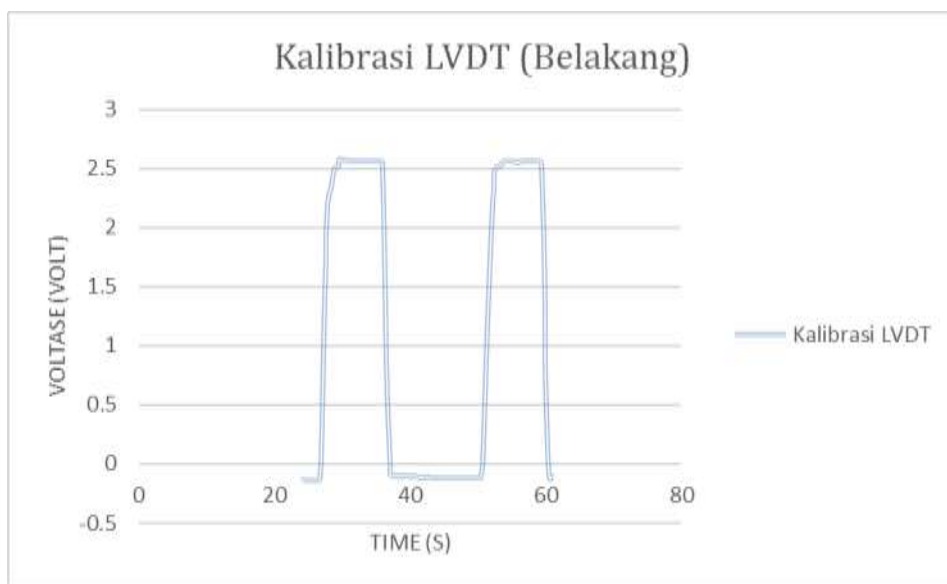
Selanjutnya membuat sambungan dari sensor/LVDT pada model kapal berupa tali, dan menghubungkan sensor/LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) ke amplifier yang nantinya akan terhubung ke dalam komputer untuk merekap hasil pergerakan dari model kapal tersebut. Pengujian eksperimen ini dilakukan dalam kondisi gelombang reguler dengan amplitudo gelombang 1.2 cm dan interval periode adalah 0.5 s sampai dengan 1.7 s. Pengujian eksperimen ini juga dilakukan pada kondisi kapal diam dan bergerak (22 Knot) sehingga dapat diperoleh grafik perbandingan RAO (*Respon Amplitude Operator*) pada posisi foil 1.5T, 1T dan 0.75T.

IV.2.4. Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat diperlukan untuk semua peralatan, hal tersebut bertujuan untuk memvalidasi data yang dihasilkan oleh sebuah alat ukur. Untuk melakukan kalibrasi terhadap sensor/LVDT ini, benang harus di tarik sebanyak 5 cm. Cara penarikannya adalah dengan menandai benang yang ada pada LVDT lalu menarik benang tersebut secara vertikal sejauh 5 cm, setelah benang tersebut ditarik voltase yang dihasilkan oleh amplifier adalah sebesar 2.5 volt.



Gambar IV.5 Hasil Kalibrasi pada sensor/LVDT bagian depan



Gambar IV.6 Hasil kalibrasi pada sensor/LVDT bagian belakang

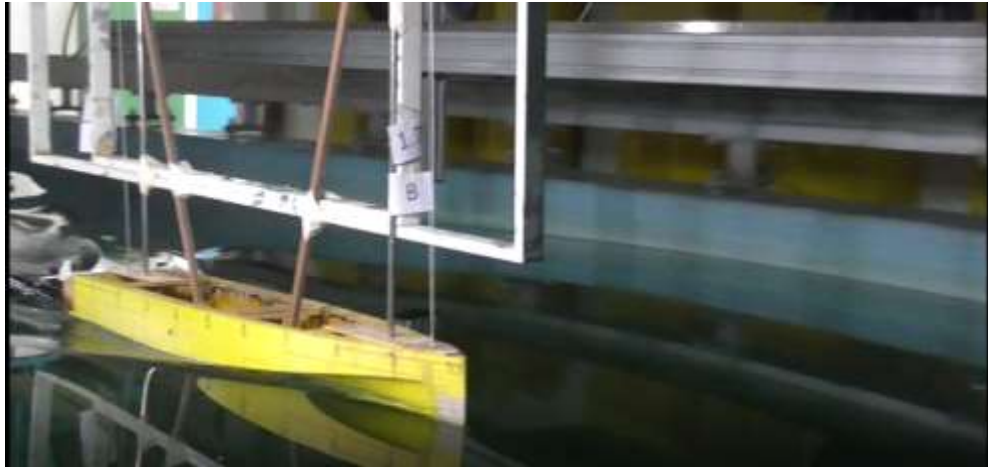
Pada Gambar IV.3 menunjukkan hasil kalibrasi dari sensor/LVDT bagian depan dimana perubahan 5 cm yang dihasilkan oleh sensor/LVDT diwakili oleh grafik setinggi 2.35 (volt) dan pada Gambar IV.4 menunjukkan hasil kalibrasi dari sensor/LVDT bagian belakang dimana perubahan 5 cm dihasilkan oleh sensor/LVDT diwakili oleh grafik setinggi 2.55 (volt). Data kalibrasi tersebut diperlukan untuk membaca hasil simpangan yang digambarkan pada sensor pada saat pengujian, sehingga dapat diketahui besar simpangan yang terjadi selama pengujian eksperimen dilakukan.

IV.2.5. Pengujian Eksperimen Seakeeping

Pengujian ini dimulai dengan menyalakan wave maker terlebih dahulu, kemudian menginput amplitudo gelombang 1.2 cm dengan interval periode 0.5 s sampai dengan 1.7 s. Kapal dapat di uji dengan keadaan diam (0 knot) dan dengan keadaan bergerak (22 knot). Kemudian melakukan pengukuran pada grafik yang dihasilkan oleh ampliflier lalu mencari RAO (*Respon Amplitude Operator*) yang nantinya ditampilkan kembali dalam bentuk grafik.



Gambar IV.7 Pengujian eksperimen seakeeping dengan amplitudo 1.2 cm dan periode gelombang 1.7 s dengan kedalaman foil belakang 0.75T



Gambar IV.8 Pengujian eksperimen seakeeping dengan amplitudo 1.2 cm dan periode gelombang 1.7 s dengan kedalaman foil belakang 1T



Gambar IV.9 Pengujian eksperimen seakeeping dengan amplitudo 1.2 cm dan periode gelombang 1.7 s dengan kedalaman foil belakang 1.5T

IV.2.6. Hasil pengujian Seakeeping dengan variasi kedalaman foil

Setelah dilakukannya proses pengujian eksperimen seakeeping, dimana amplitudo gelombang reguler pada towing tank adalah 1.2 cm dan dengan variasi periode gelombang 0.5 (s), 0.7 (s), 0.9 (s), 1.1 (s), 1.3 (s), 1.5 (s), 1.7 (s). Dari hasil pengujian eksperimen tersebut di dapatkan simpangan – simpangan yang tertera pada grafik yang selanjutnya dikonversikan menjadi RAO (*Respon Amplitude Operator*) Heave dan Pitch pada periode gelombang yang divariasikan tersebut.

BAB V

PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI ANSYS AQWA

V.1. Pembuatan Model Lambung Kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan software Maxsurf

V.1.1. Pemodelan Kapal *Crew Boat* Orela

Dari data kapal dan *lines plan* yang sudah di dapatkan, bentuk kapal *crew boat* Orela harus disimulasikan dalam bentuk 3D. Hal ini disebabkan karena penggunaan program Ansys Aqwa harus menggunakan bentuk 3D berupa NURB Surface.

Dalam pembuatan model kapal di Maxsurf, model kapal harus dibuat kedalam *surface*. Hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat *surface* dengan cara memilih toolbar *surface* lalu memilih *surface* yang diperlukan. Dalam setiap *surface* terdapat control point yang sesuai dengan ukuran dan letaknya, diantaranya adalah *longitudinal position* mewakili sumbu-x, *offset* mewakili sumbu-y, dan *height* mewakili sumbu-z (Presetyo, B.D, 2016). Dari kumpulan *surface – surface* tersebut dapat dibentuk model kapal yang kita inginkan.

Hal ini juga berlaku dalam pembuatan model kapal *crew boat* Orela, ketika *surface – surface* telah sesuai dengan *lines plan* yang ada, maka selanjutnya adalah menggabungkan semua *surface* yang ada dengan *tools bonding*. Adapun beberapa syarat dalam melakukan *bonding* tersebut, antara lain dua *surface* tersebut harus memiliki *column* dan *row* yang sama dan tidak boleh hanya memiliki 2 *control point* saja.

Setelah model kapal di Maxsurf telah siap, dilakukanlah validasi dengan ukuran kapal *Crew Boat* Orela yang sebenarnya. Toleransi kesalahan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah 2%, sehingga model yang dibuat pada maxsurf ini dapat merepresentasikan karakteristik dari kapal yang akan di uji. Berikut adalah hasil validasi tersebut :

Table V.1 Validasi Hidrostatik *Crew Boat* Orela Maxsurf dengan Kapal Sesungguhnya

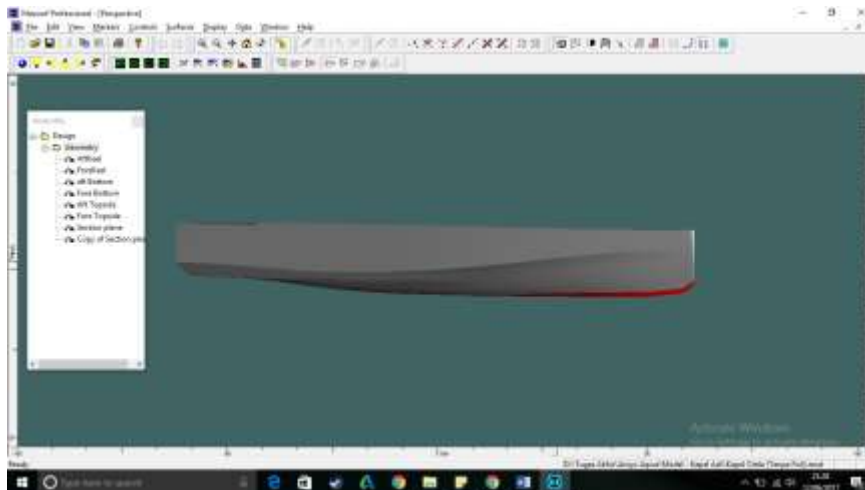
No	Data	Nilai		Selisih (%)
		Kapal Sesungguhnya	Kapal Maxsurf	
1	LOA	40.00 m	40.00 m	0
2	B	8.00 m	8.00 m	0
3	H	4.40 m	4.40 m	0
4	T	1.70 m	1.70 m	0
5	Displacemen	242.71 ton	239.10 ton	1.490
6	C _B	0.437	0.435	0.458
7	C _M	0.606	0.605	0.165
8	C _P	0.721	0.718	0.416
9	WPA	238.79 m ²	238.35 m ²	0.183
10	LCB	15.533 m	15.352 m	1.179

Table V.2 Data Hidrostatik Kapal *Crew Boat* Orela pada setiap posisi kedalaman *foil*

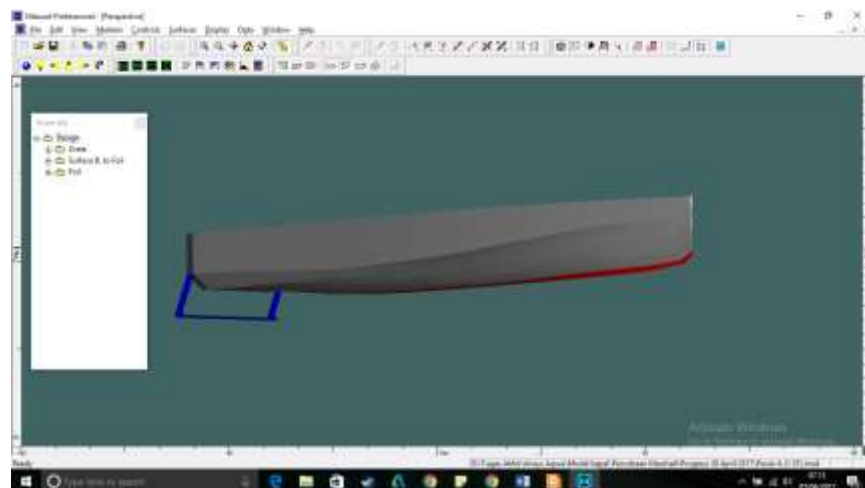
No	Data	Nilai Maxsurf		
		Kapal menggunakan <i>foil</i> 1.5T	Kapal menggunakan <i>foil</i> 1.0T	Kapal menggunakan <i>foil</i> 0.75T
1	LOA	41.20 m	41.20 m	41.20 m
2	B	8.00 m	8.00 m	8.00 m
3	H	4.40 m	4.40 m	4.40 m
4	T	1.70 m	1.70 m	1.70 m
5	Displacemen	239.856 ton	239.803 ton	239.777 ton
6	C _B	0.435	0.435	0.437
7	C _M	0.605	0.605	0.605
8	C _P	0.718	0.718	0.718
9	WPA	239.782 m ²	240.192 m ²	240.419 m ²
10	LCB	15.294 m	15.297 m	15.299 m

V.1.2. Modifikasi Penambahan Foil Belakang pada kapal *Crew Boat Orela* dengan kedalaman yang sesuai

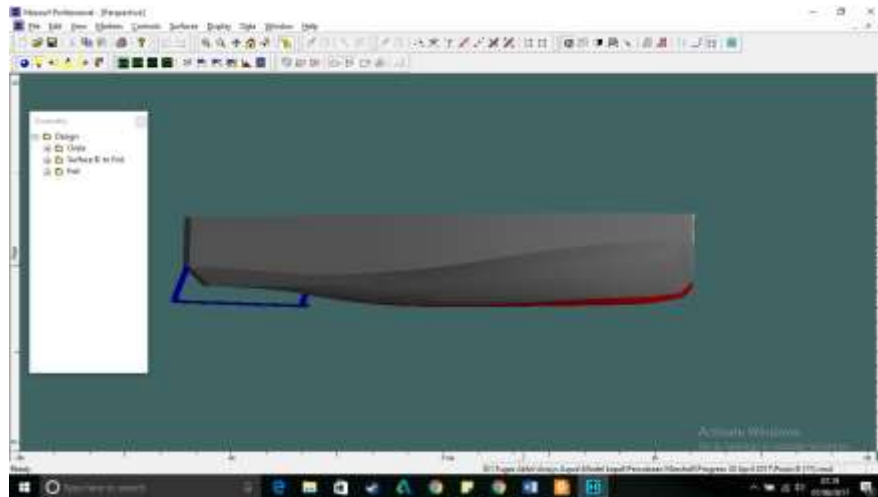
Setelah model kapal *Crew Boat Orela* dibuat, maka selanjutnya adalah membuat *foil* dan *strut* belakang tersebut dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T menggunakan software Maxsurf Pro. Dimana penambahan *foil* dilakukan dengan penambahan surface baru yang sesuai dengan *foil* dan *strut* yang digunakan yaitu NACA Series 64A212 untuk *foil* dan NACA Series 0010 untuk *strut* (Hidayat, 2016). Karena pada software Ansys AQWA surface model yang dibaca harus menjadi satu kesatuan maka dilakukan proses *bonding foil* sesuai dengan jumlah *control point* yang akan dijadikan satu *surface*, dari *surface* kapal dengan *surface* baru yang dibuat untuk penambahan *foil* belakang.



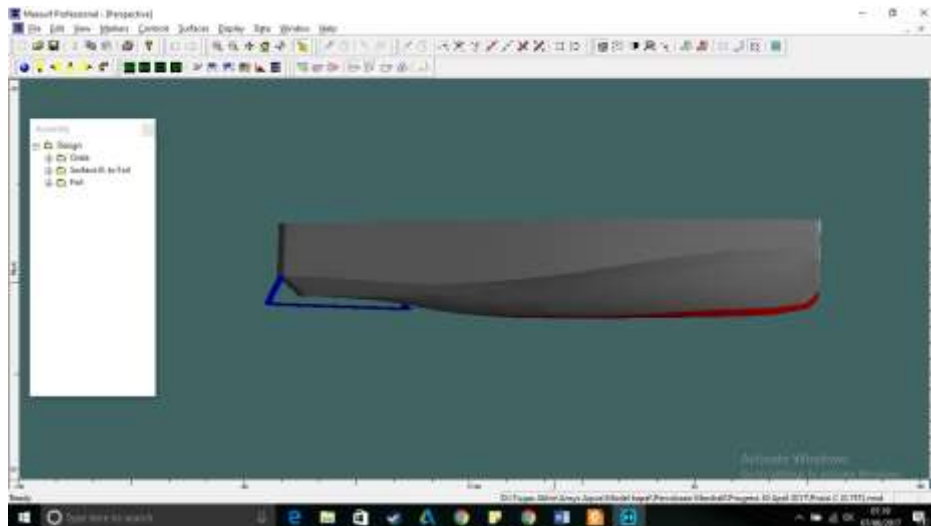
Gambar V.1 Model Kapal *Crew Boat Orela* tanpa menggunakan *foil* dengan menggunakan software Maxsurf



Gambar V.2 Model Kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan software Maxsurf menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T



Gambar V.3 Model Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan software Maxsurf menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1T



Gambar V.4 Model Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan software Maxsurf menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T

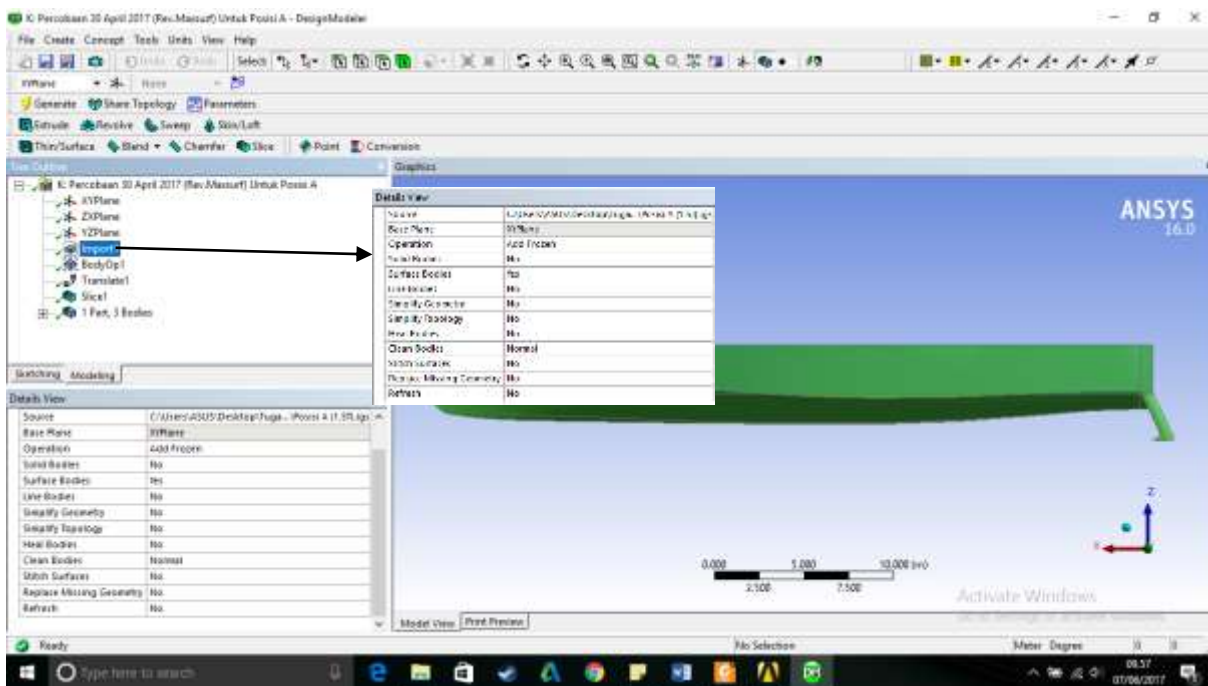
V.1.3. Permodelan Kapal Crew Boat Orela dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T pada ANSYS AQWA

V.1.3.1. Permodelan Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5 T

Setelah model kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5 T di modelkan dalam Maxsurf, maka selanjutnya adalah melakukan analisa dengan menggunakan Ansys Aqwa. Sebelum menganalisa, hal yang harus dilakukan adalah mengunggah geometri kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T ke dalam program Ansys Aqwa.

Dikarenakan format yang dapat digunakan pada Ansys Aqwa salah satunya adalah .igs maka file di maxsurf yang adalah .msd harus di export ke dalam .igs (NURB 3D Surface). Format .igs adalah salah satu format yang dapat dibaca oleh Ansys Aqwa.

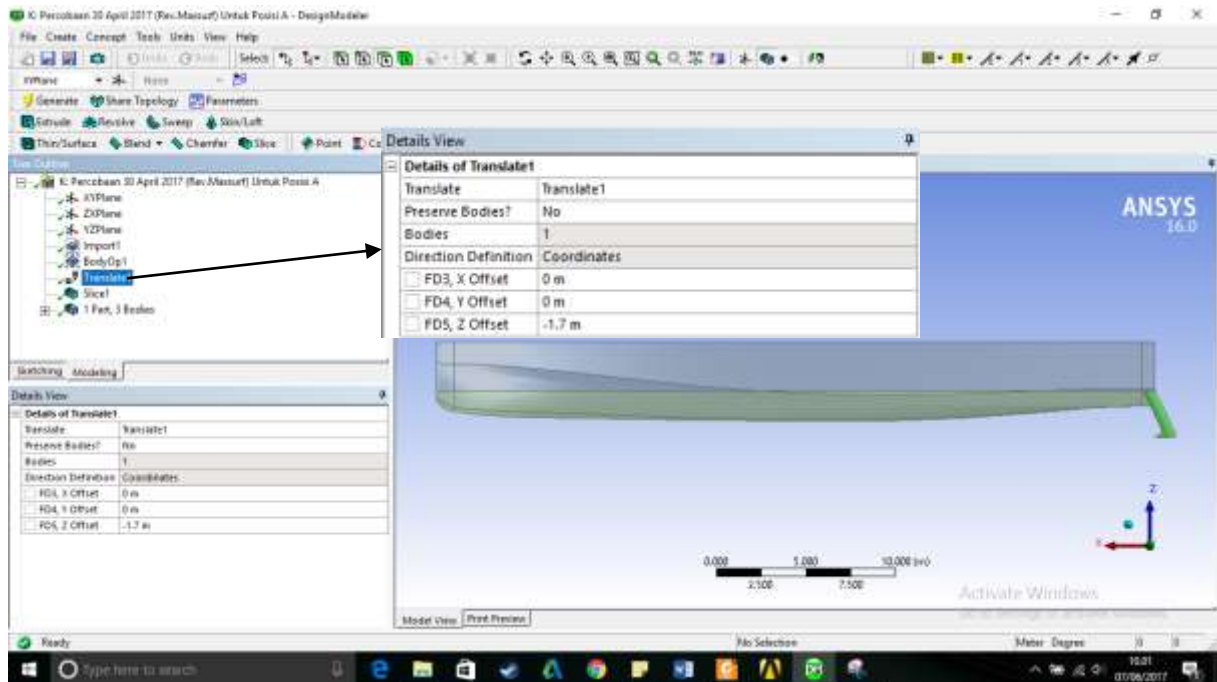
Pada saat menginput geometri model kapal *Crew Boat* pada Ansys Aqwa, hal yang harus diperhatikan adalah bahwa model kapal harus terbaca satu body, jika file IGS yang dimasukan berupa multi body, maka proses *solving* pada Ansys Aqwa tidak bisa dilakukan, oleh sebab itu perlu dilakukan perbaikan pada model kapal di Maxsurf. Selain itu, kapal (*surface*) yang ada harus menghadap keluar (*pointing outward*).



Gambar V.5 Geometri Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* dengan kedalaman 1.5T

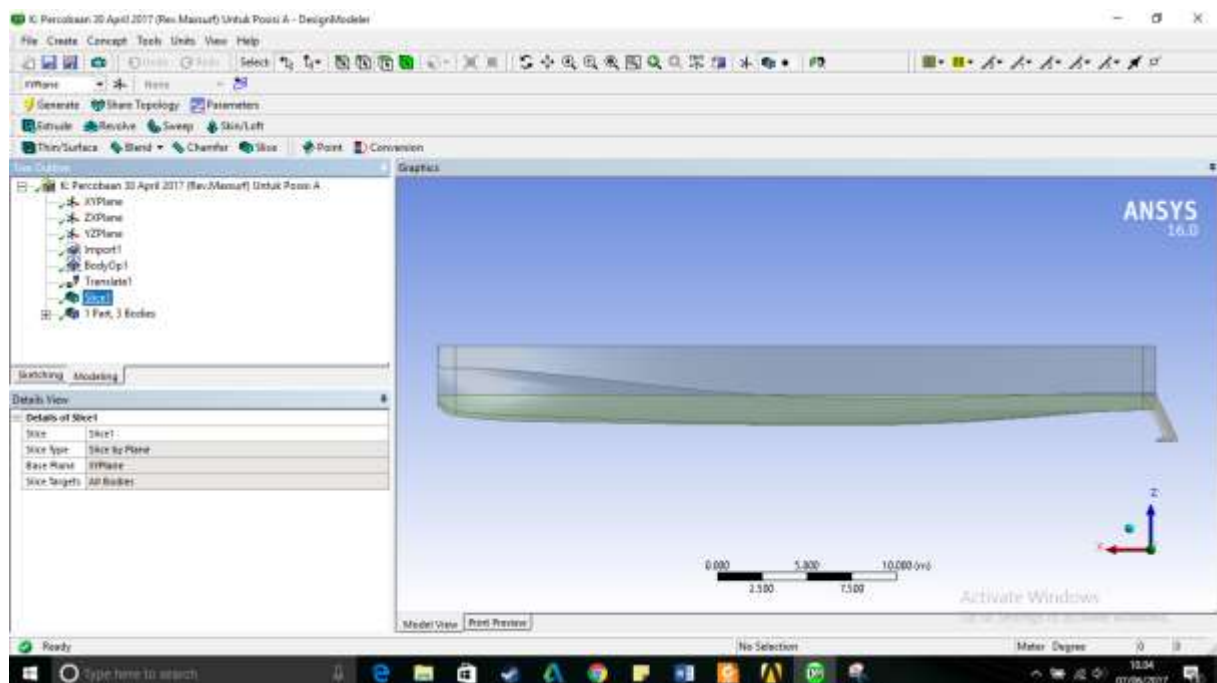
Langkah – langkah yang harus dilakukan pada pengaturan geometri di Ansys Aqwa adalah sebagai berikut :

- Pilih toolbar Body Operation, lalu memilih part yang terpisah dan selanjutnya pilih toolbar generate.
- Pilih toolbar Create - Body Tranformation – Translation. Lalu mentransfer sumbu XY sesuai dengan kapal sesungguhnya. Dan selanjutnya pilih toolbar Generate.



Gambar V.6 Translate Model Kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya

- Pilih toolbar Create – Slice. Dan selanjutnya pilih toolbar Generate. Hal ini bertujuan untuk mendefinisikan dalam bentuk body di atas air dan body di bawah air.



Gambar V.7 Slice pada geometri Kapal

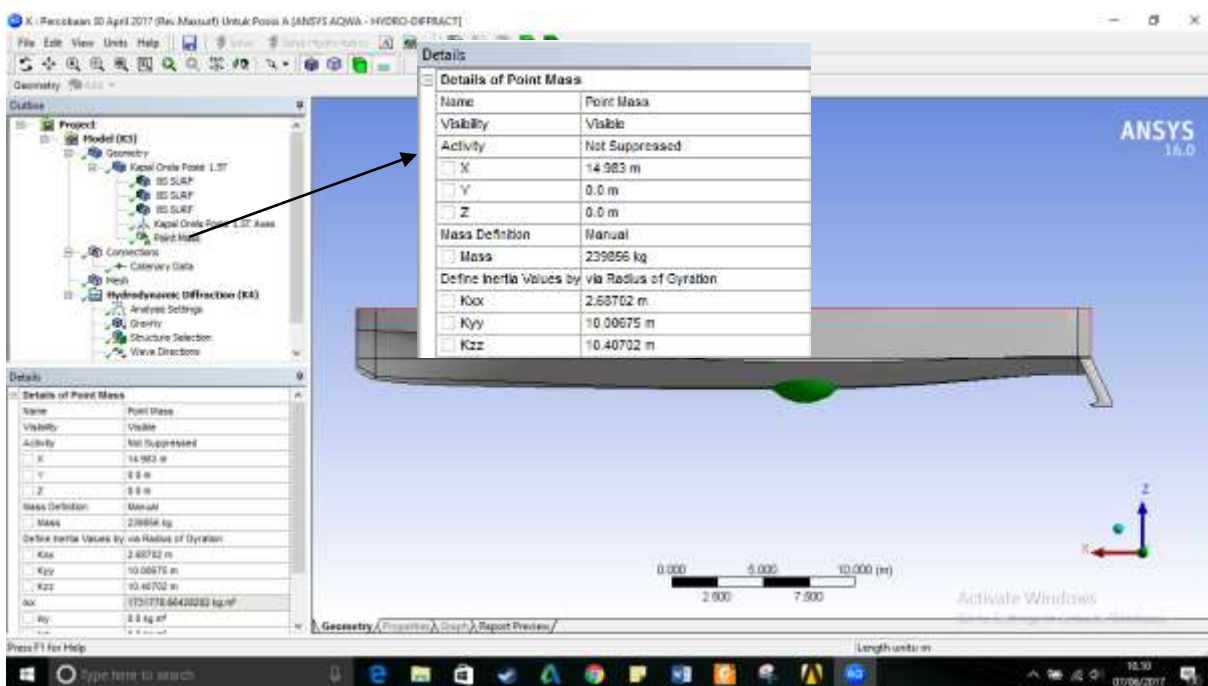
- Yang terakhir adalah menjoin part yang telah terbagi oleh toolbar Slice untuk membuat model kapal menjadi 1 body, dengan cara memilih part yang terpisah kemudian Klik Kanan - Form A New Part.

V.1.3.2. Proses pendefinisian model Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa

Untuk mendefinisikan model kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya, maka harus menginput beberapa parameter, seperti :

1. Ukuran media
2. Massa Jenis Fluida
3. *Point of mass*
4. *Point of bouyancy*
5. dll

Dalam pendefinisian massa (*Point of mass*) dapat dilakukan secara manual dan otomatis oleh *software* Ansys Aqwa, karena nilai titik berat dari kapal tersebut sudah di dapatkan, sehingga nilai tersebut dimasukan secara manual.



Gambar V.8 Penentuan *point mass* dari kapal Crew Boat Orela

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian meshing dan parameter model kapal yang dibutuhkan untuk proses *solving* pada *software* Ansys Aqwa. Langkah ini adalah

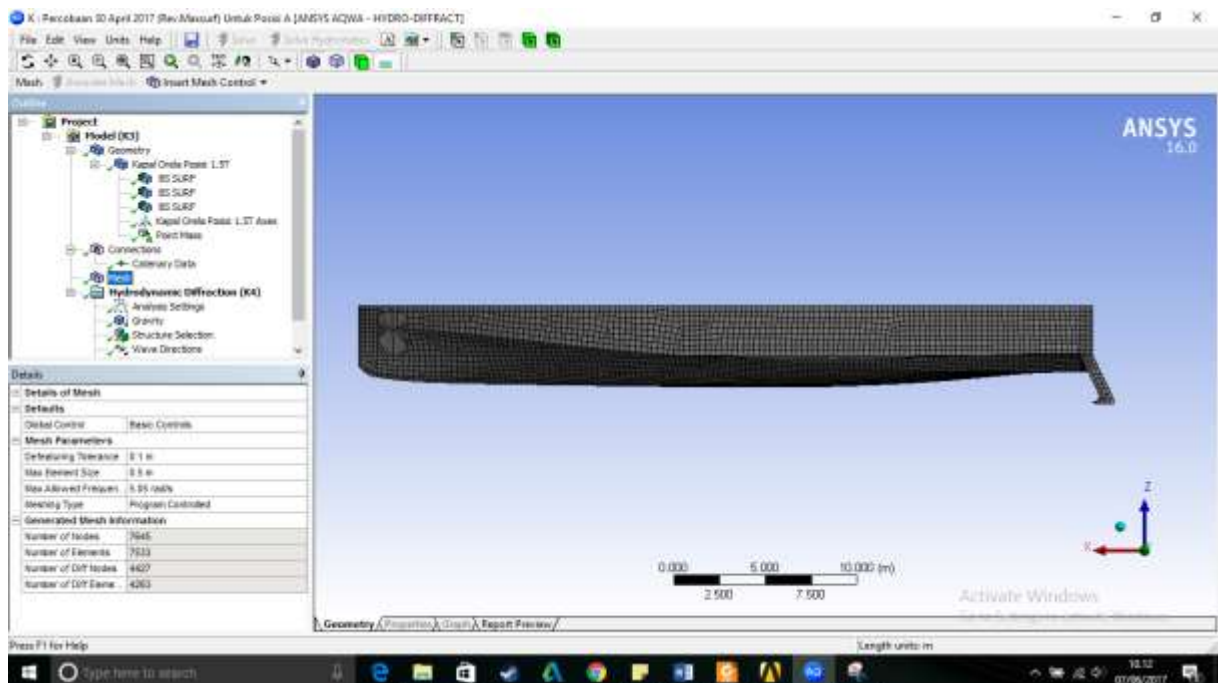
salah satu bagian terpenting dalam pengujian menggunakan *software* ini. Proses ini (*meshing*) bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen – elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan. Proses *meshing* sangat mempengaruhi hasil dari *solving* karena semakin kecil *meshing* dan semakin banyak jumlah *meshing* maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Langkah – langkah *meshing* adalah sebagai berikut ;

- Klik kanan pada pohon perintah Mesh – Insert Mesh Control – Sizing.
- Masukkan ukuran mesh yang diinginkan.

Dalam *meshing* yang dimiliki oleh *software* Ansys Aqwa, ada 3 jenis *meshing* yaitu;

- 1.Surface *meshing*
- 2.Combined *meshing*
- 3.Program Controlled

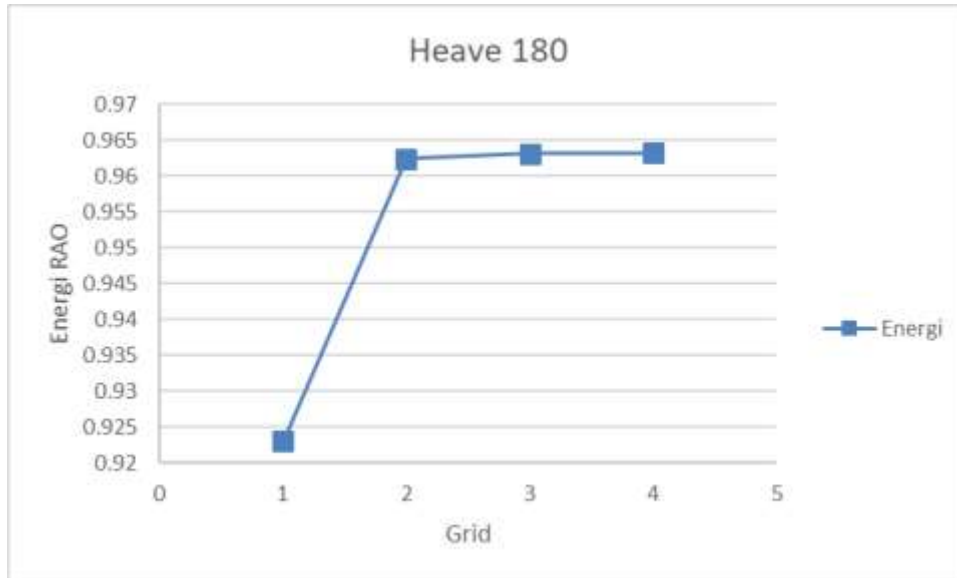
Semakin kecil ukuran *meshing* maka akan semakin bagus hasil *solving*, namun tetap harus dilakukan konvergensi untuk mencari nilai *meshing* optimum. *Meshing* yang baik adalah *meshing* diperbanyak pada bagian kapal yang memiliki bentuk yang rumit seperti buritan, *foil*, haluan, dll. Contoh hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar V.9.



Gambar V.9 Generate mesh pada kapal *Crew Boat Orela*

V.1.3.3. Grid Independence Mesh

Meshing akan meningkatkan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penentuan jumlah *meshing* yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Semakin tinggi tingkat spesifikasi dari komputer yang akan digunakan maka semakin tinggi pula *meshing* yang akan dapat dibentuk dari model, selain itu banyaknya *meshing* akan membuat semakin lama waktu proses *solving*



Grid	Max Element Size	Total Element	Jumlah Node
1	1	2018	2178
2	0.65	4169	4287
3	0.5	7533	7645
4	0.3	15980	16075

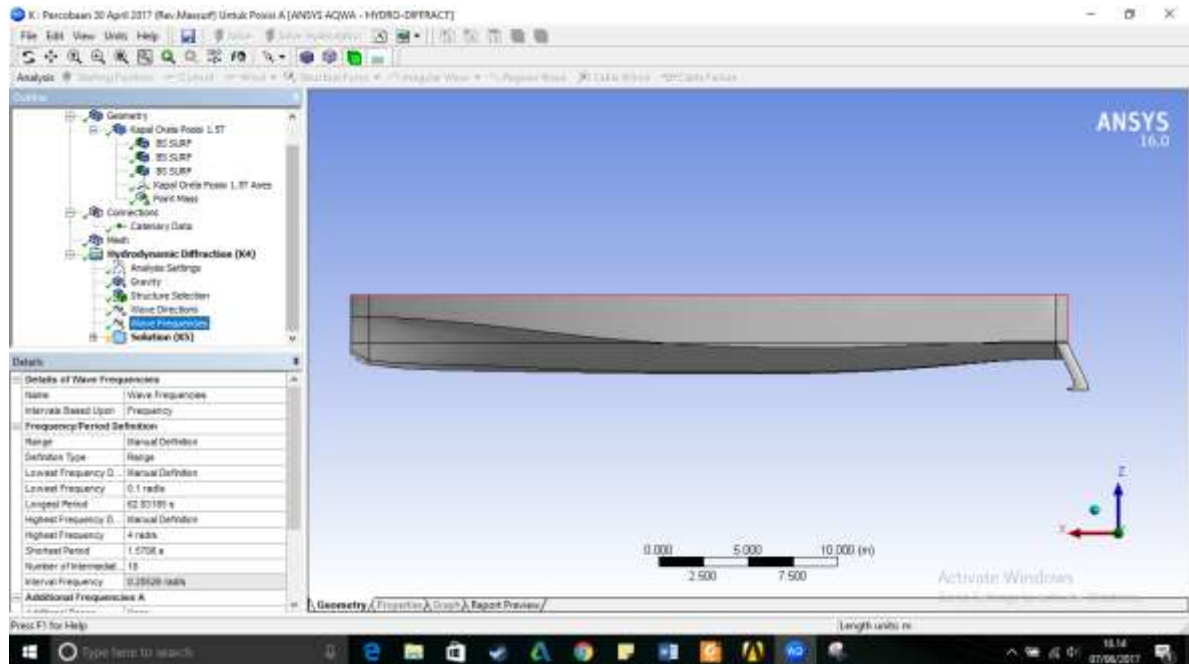
Grid	Max Element Size	Area	Selisih (%)
1	1	0.9231	
2	0.65	0.962376	4.25479363
3	0.5	0.963127	0.078036027
4	0.3	0.96324	0.011732617

Dari grafik konvergensi kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* dengan kedalaman 1.5 T yang optimum adalah grid yang ke 3 yaitu pada *max element size* 0.5. Pada ukuran yang lebih kecil (0.3) memiliki selisih yang lebih kecil dibandingkan dengan 0.5 akan tetapi waktu yang diperlukan untuk me-*solving*nya hampir 2 kali dari *max element size* sebelumnya. Sehingga *max element size* 0.5 dipilih untuk melakukan

solving pada kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil belakang* dengan kedalaman 1.5T.

V.1.3.4. Frekuensi gelombang dan Arah Gelombang

Untuk mensimulasikan model kapal *Crew Boat Orela* kita juga harus memasukan parameter dari frekuensi gelombang dan arah gelombang. Adapun arah gelombang yang kita inginkan adalah 180°

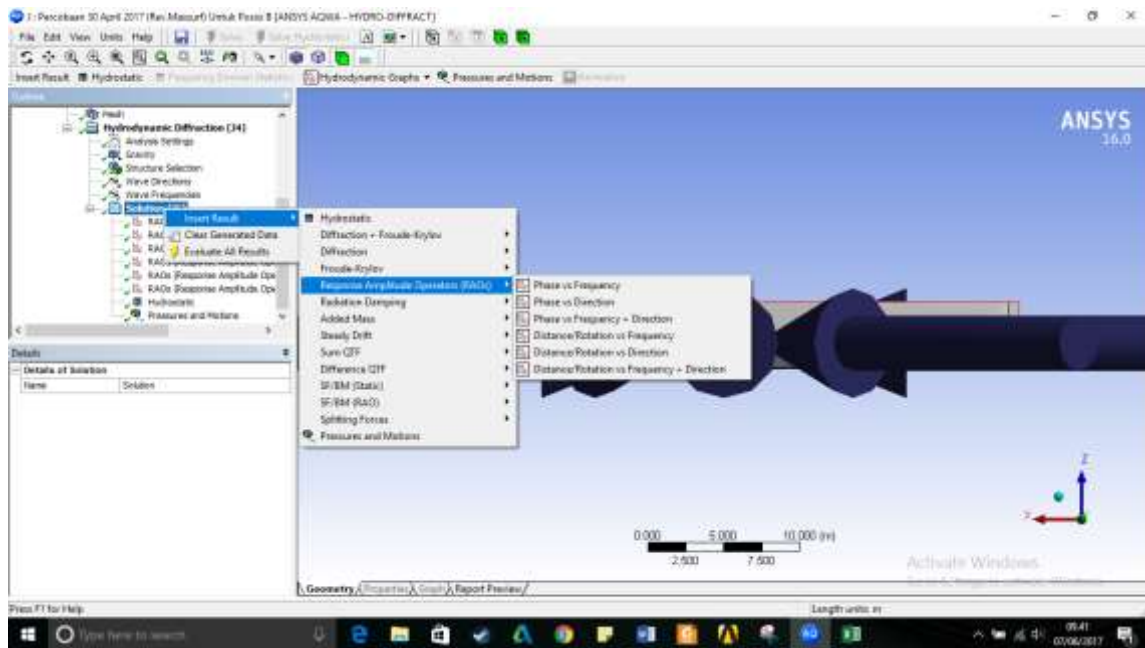


Gambar V.10 Penentuan Wave Frequency pada Ansys Aqwa

V.1.3.5. Menghitung Transfer Function Kapal *Crew Boat Orela* pada Ansys Aqwa

Pada proses solving ini adalah proses dimana kita akan menentukan hasil apa yang akan kita inginkan dari simulasi ini Untuk simulasi ini hasil yang dimunculkan adalah RAO dari model kapal menggunakan *foil belakang* dengan kedalaman 1.5T. Langkah – langkah yang harus dilakukan adalah :

- Klik kanan pada Solution – Insert Result – RAOs- Distance/Rotation vs Frequency



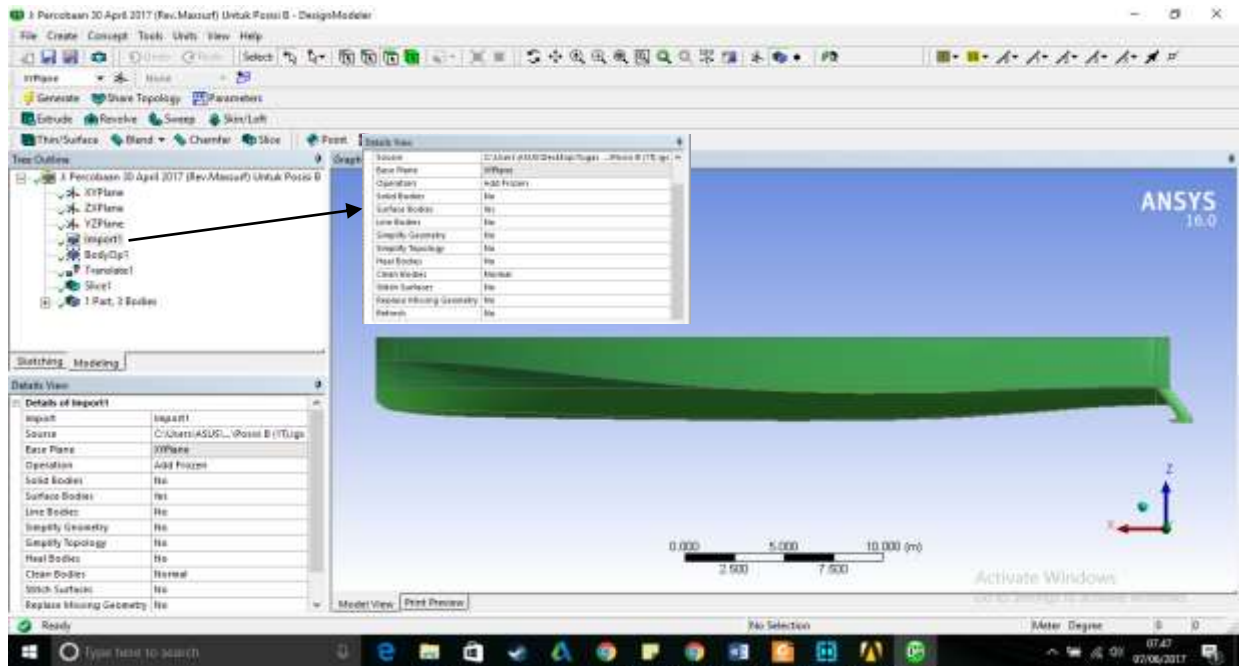
Gambar V.11 Proses *Solving* pada Ansys Aqwa

V.1.4. Permodelan Kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T pada Ansys Aqwa

V.1.4.1. Permodelan Kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T

Setelah model kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1 T di modelkan dalam Maxsurf, maka selanjutnya adalah melakukan analisa dengan menggunakan Ansys Aqwa. Sebelum menganalisa, hal yang harus dilakukan adalah mengunggah geometri kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T ke dalam program Ansys Aqwa. Dikarenakan format yang dapat digunakan pada Ansys Aqwa salah satunya adalah .igs maka file di maxsurf yang adalah .msd harus di export ke dalam .igs (NURB 3D Surface). Format .igs adalah salah satu format yang dapat dibaca oleh Ansys Aqwa.

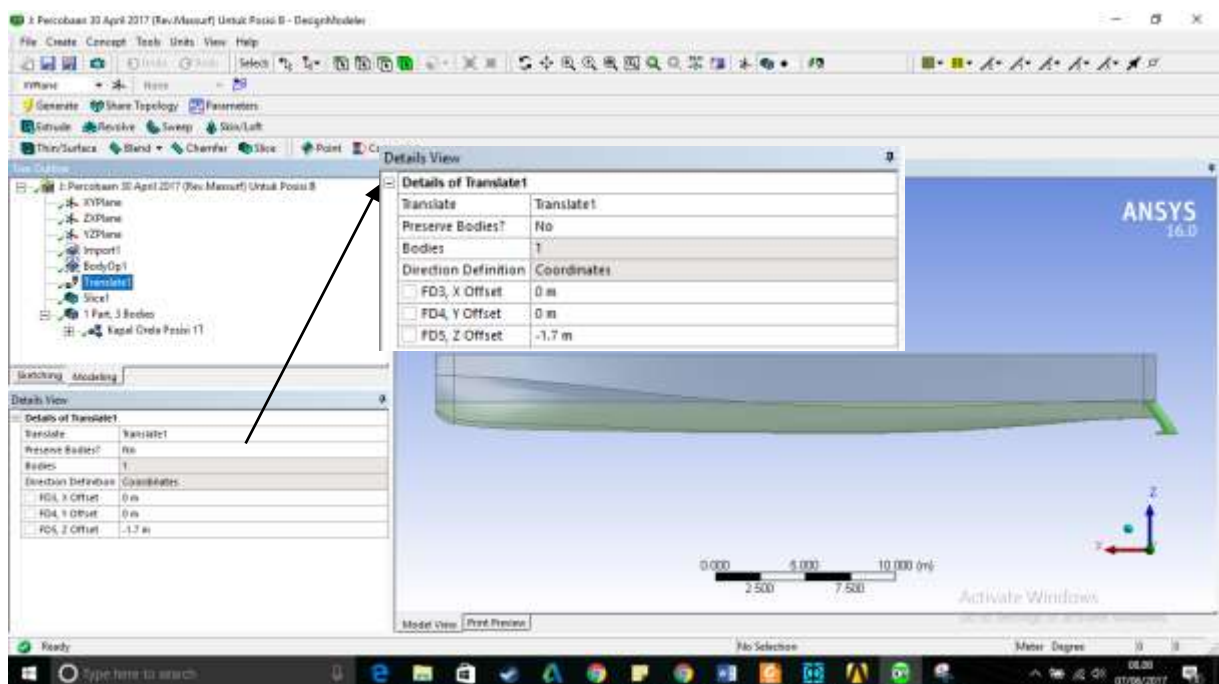
Pada saat menginput geometri model kapal *Crew Boat* pada Ansys Aqwa, hal yang harus diperhatikan adalah bahwa model kapal harus terbaca satu body, jika file IGS yang dimasukan berupa multi body, maka proses *solving* pada Ansys Aqwa tidak bisa dilakukan, oleh sebab itu perlu dilakukan perbaikan pada model kapal di Maxsurf. Selain itu, kapal (*surface*) yang ada harus menghadap keluar (*pointing outward*).



Gambar V.12 Geometri Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* dengan kedalaman 1T

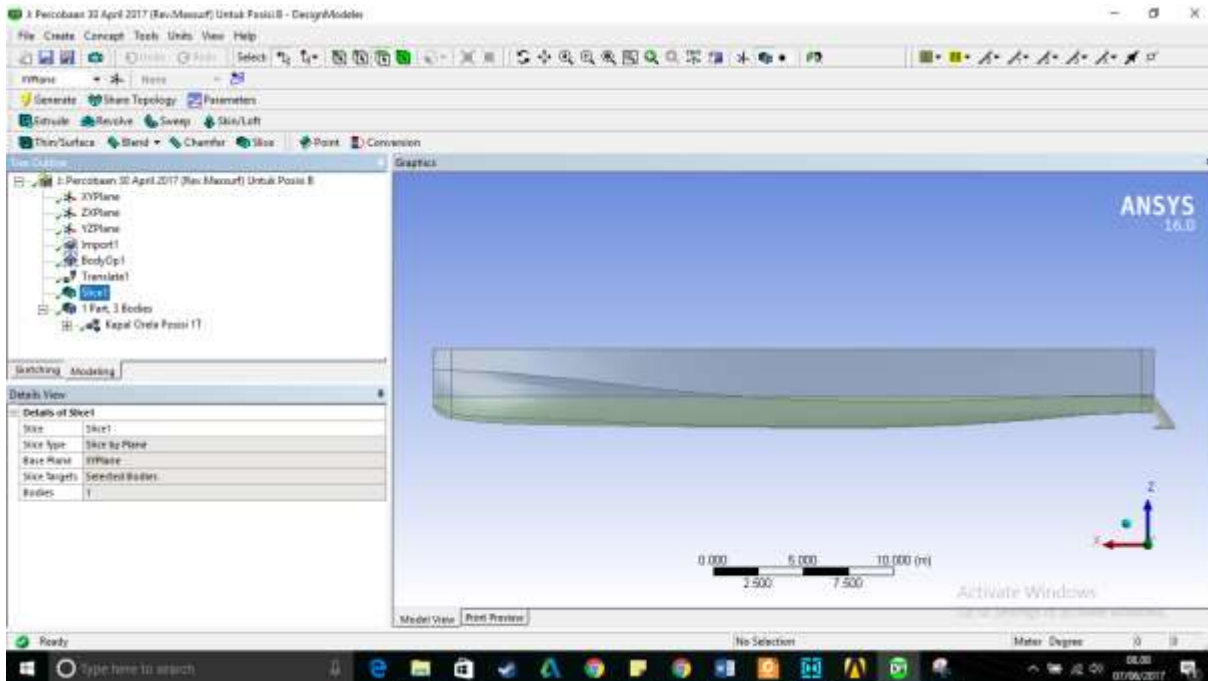
Langkah – langkah yang harus dilakukan pada pengaturan geometri di Ansys Aqwa adalah sebagai berikut :

- Pilih toolbar Body Operation, lalu memilih part yang terpisah dan selanjutnya pilih toolbar generate.
- Pilih toolbar Create - Body Tranformation – Translation. Lalu mentransfer sumbu XY sesuai dengan kapal sesungguhnya. Dan selanjutnya pilih toolbar Generate.



Gambar V.13 Translate Model Kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya

- Pilih toolbar Create – Slice. Dan selanjutnya pilih toolbar Generate. Hal ini bertujuan untuk mendefinisikan dalam bentuk body di atas air dan body di bawah air.



Gambar V.14 Slice pada geometri Kapal

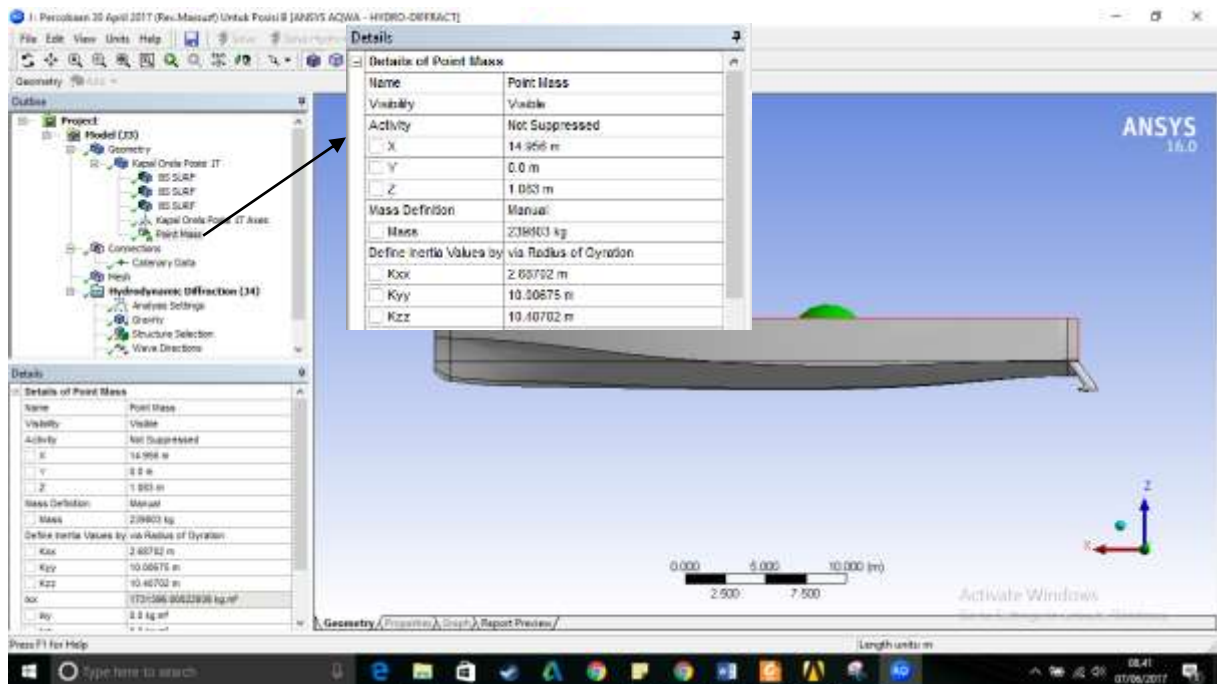
- Yang terakhir adalah join part yang telah terbagi oleh toolbar Slice untuk membuat model kapal menjadi 1 body, dengan cara memilih part yang terpisah kemudian Klik Kanan - Form A New Part.

V.1.4.2. Proses pendefinisian model Kapal Crew Boat Orela pada Ansys Aqwa

Untuk mendefinisikan model kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya, maka harus menginput beberapa parameter, seperti :

1. Ukuran media
2. Massa Jenis Fluida
3. *Point of mass*
4. *Point of bouyancy*
5. dll

Dalam pendefinisian massa (*Point of mass*) dapat dilakukan secara manual dan otomatis oleh *software* Ansys Aqwa, karena nilai titik berat dari kapal tersebut sudah di dapatkan, sehingga nilai tersebut dimasukan secara manual.



Gambar V.15 Penentuan *point mass* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* dengan kedalaman 1T

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian meshing dan parameter model kapal yang dibutuhkan untuk proses *solving* pada *software* Ansys Aqwa. Langkah ini adalah salah satu bagian terpenting dalam pengujian menggunakan *software* ini. Proses ini (*meshing*) bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen – elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan. Proses meshing sangat mempengaruhi hasil dari *solving* karena semakin kecil meshing dan semakin banyak jumlah meshing maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Langkah – langkah meshing adalah sebagai berikut ;

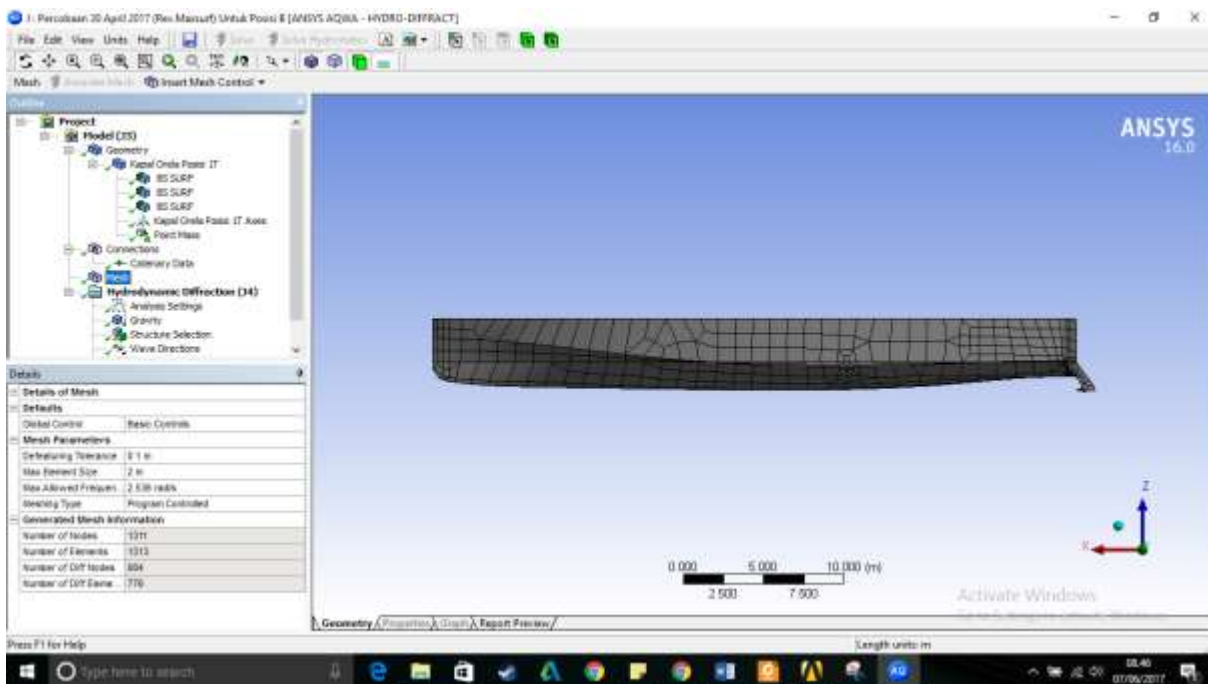
- Klik kanan pada pohon perintah Mesh – Insert Mesh Control – Sizing.
- Masukkan ukuran mesh yang diinginkan.

Dalam meshing yang dimiliki oleh *software* Ansys Aqwa, ada 3 jenis meshing yaitu;

1. *Surface meshing*
2. *Combined meshing*
3. *Program Controlled*

Semakin kecil ukuran meshing maka akan semakin bagus hasil *solving*, namun tetap harus dilakukan konvergensi untuk mencari nilai meshing optimum. Meshing yang baik adalah meshing diperbanyak pada bagian kapal yang memiliki bentuk yang rumit

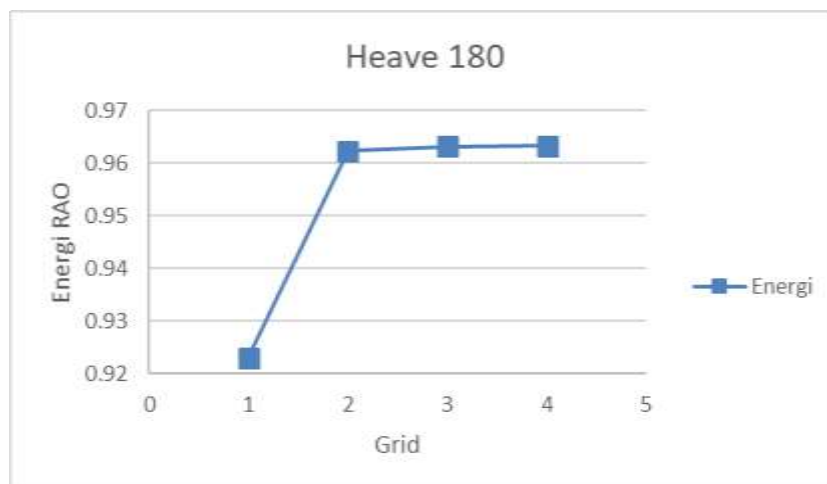
seperti buritan, *foil*, haluan, dll. Contoh hasil meshing dapat dilihat pada Gambar V.16.



Gambar V.16 Generate mesh pada kapal *Crew Boat Orela*

V.1.4.3. Grid Independence Mesh

Meshing akan meningkatkan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penentuan jumlah *meshing* yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Semakin tinggi tingkat spesifikasi dari komputer yang akan digunakan maka semakin tinggi pula *meshing* yang akan dapat dibentuk dari model, selain itu banyaknya *meshing* akan membuat semakin lama waktu proses *solving*



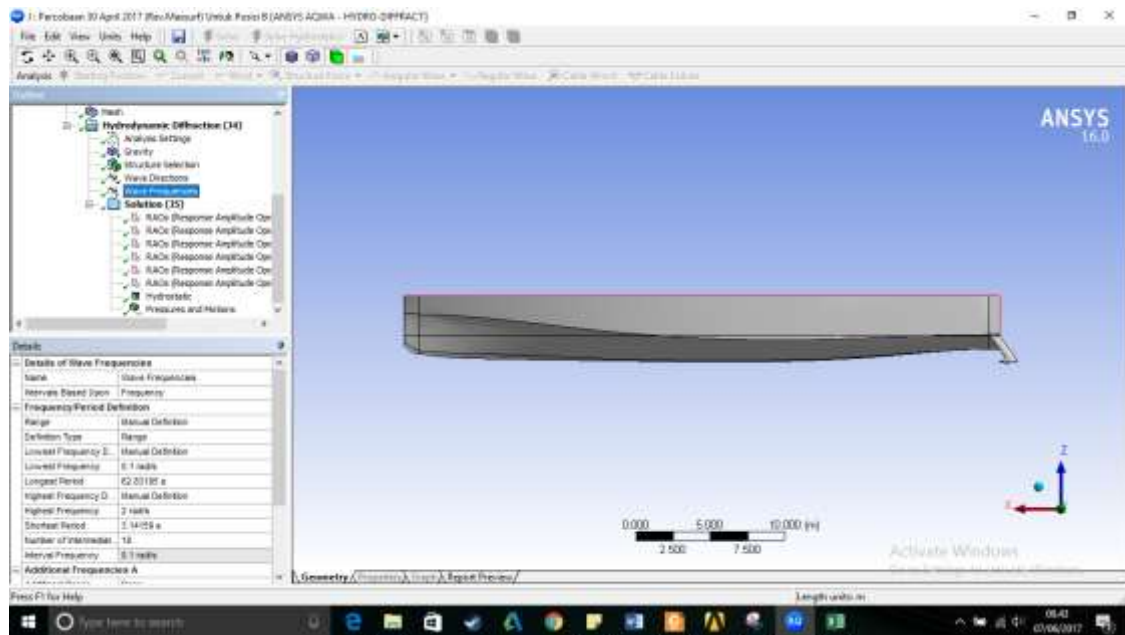
Grid	Max Element Size	Total Element	Jumlah Node
1	1	2018	2178
2	0.65	4169	4287
3	0.5	7508	7612
4	0.3	15980	16075

Grid	Max Element Size	Area	Selisih (%)
1	1	0.9231	
2	0.65	0.962376	4.25479363
3	0.5	0.963127	0.078036027
4	0.3	0.96324	0.011732617

Dari grafik konvergensi kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* dengan kedalaman 1T yang optimum adalah grid yang ke 3 yaitu pada *max element size* 0.5. Pada ukuran yang lebih kecil (0.3) memiliki selisih yang lebih kecil dibandingkan dengan 0.5 akan tetapi waktu yang diperlukan untuk *me-solvingnya* hampir 2 kali dari *max element size* sebelumnya. Sehingga *max element size* 0.5 dipilih untuk melakukan *solving* pada kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil belakang* dengan kedalaman 1T.

V.1.4.4. Frekuensi gelombang dan Arah Gelombang

Untuk mensimulasikan model kapal *Crew Boat Orela* kita juga harus memasukan parameter dari frekuensi gelombang dan arah gelombang. Adapun arah gelombang yang kita inginkan adalah 180°

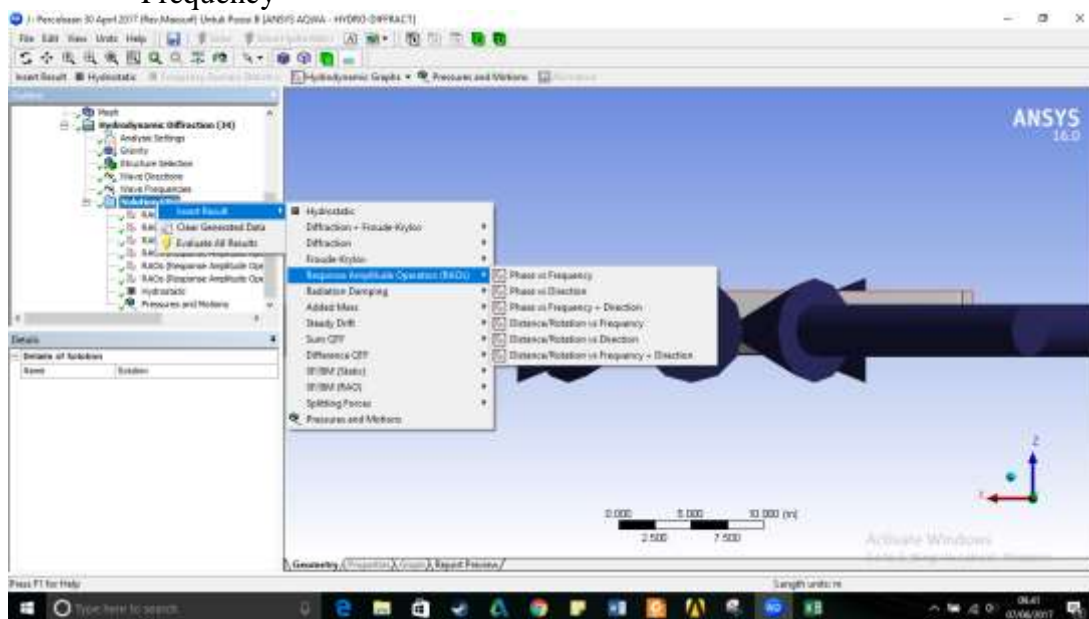


Gambar V.17 Penentuan Wave Frequency pada Ansys Aqwa

V.1.4.5. Menghitung Transfer Fuction Kapal *Crew Boat Orela* pada Ansys Aqwa

Pada proses solving ini adalah proses dimana kita akan menentukan hasil apa yang akan kita inginkan dari simulasi ini Untuk simulasi ini hasil yang dimunculkan adalah RAO dari mdeol kapal menggunakan *foil belakang* dengan kedalaman 1.5T. Langkah – langkah yang harus dilakukan adalah :

- Klik kanan pada Solution – Insert Result – RAOs- Distance/Rotation vs Frequency



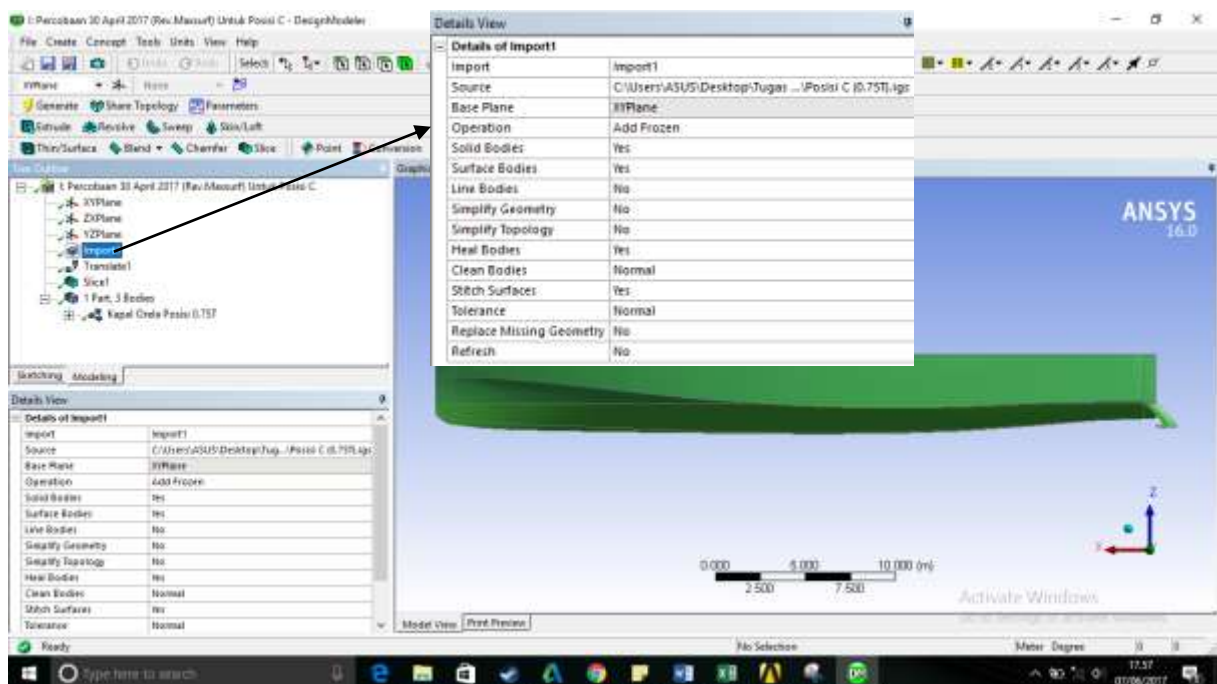
Gambar V.18 Proses *Solving* pada Ansys Aqwa

V.1.5. Permodelan Kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T pada Ansys Aqwa

V.1.5.1. Permodelan Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T

Setelah model kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T di modelkan dalam Maxsurf, maka selanjutnya adalah melakukan analisa dengan menggunakan Ansys Aqwa. Sebelum menganalisa, hal yang harus dilakukan adalah mengunggah geometri kapal *Crew Boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T ke dalam program Ansys Aqwa. Dikarenakan format yang dapat digunakan pada Ansys Aqwa salah satunya adalah .igs maka file di maxsurf yang adalah .msd harus di export ke dalam .igs (NURB 3D Surface). Format .igs adalah salah satu format yang dapat dibaca oleh Ansys Aqwa.

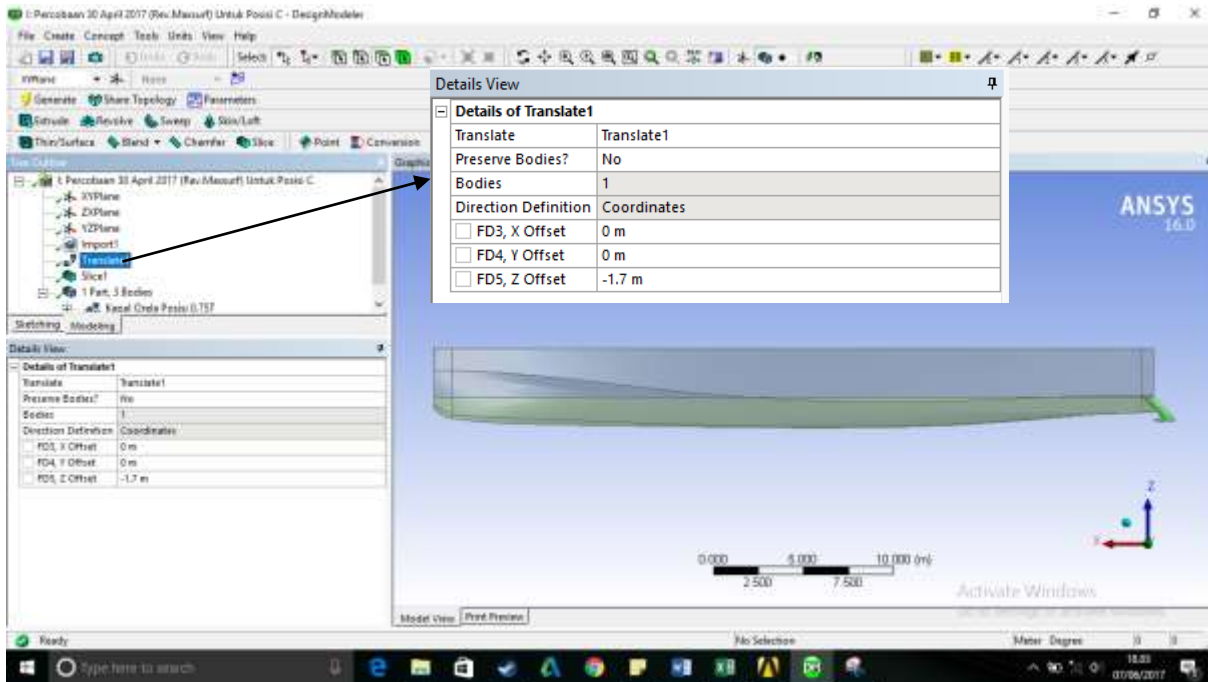
Pada saat menginput geometri model kapal *Crew Boat* pada Ansys Aqwa, hal yang harus diperhatikan adalah bahwa model kapal harus terbaca satu body, jika file IGS yang dimasukan berupa multi body, maka proses *solving* pada Ansys Aqwa tidak bisa dilakukan, oleh sebab itu perlu dilakukan perbaikan pada model kapal di Maxsurf. Selain itu, kapal (*surface*) yang ada harus menghadap keluar (*pointing outward*).



Gambar V.19 Geometri Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* dengan kedalaman 0.75T

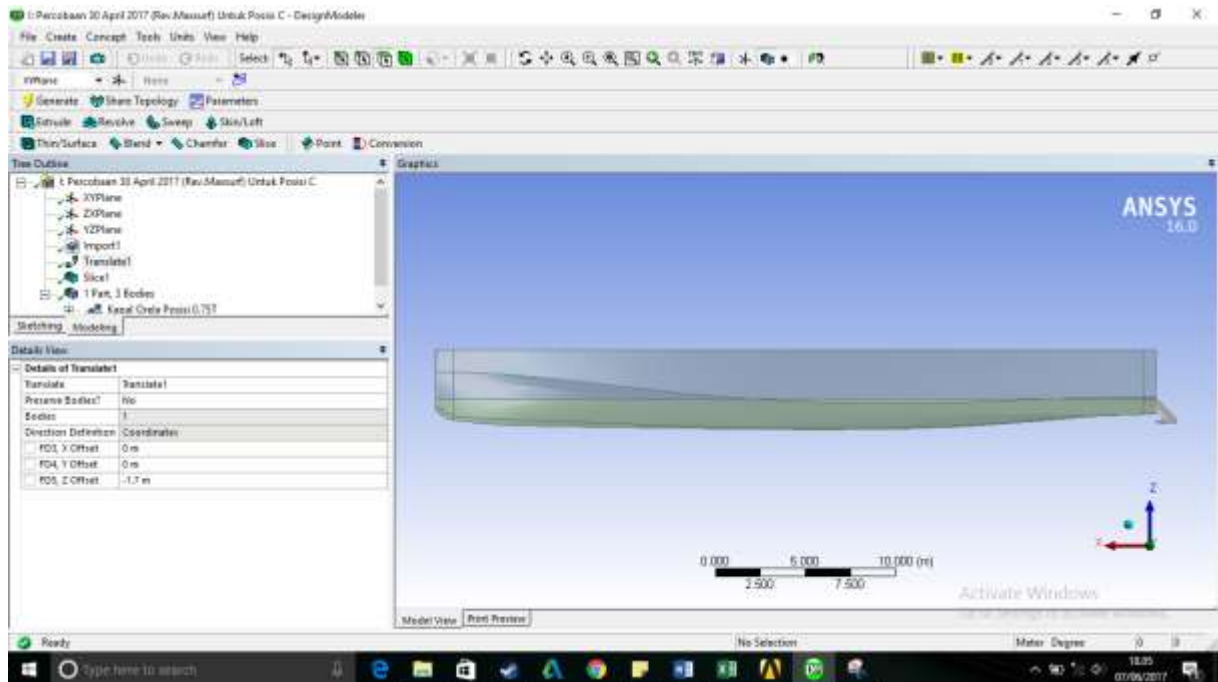
Langkah – langkah yang harus dilakukan pada pengaturan geometri di Ansys Aqwa adalah sebagai berikut :

- Pilih toolbar Body Operation, lalu memilih part yang terpisah dan selanjutnya pilih toolbar generate.
- Pilih toolbar Create - Body Tranformation – Translation. Lalu mentransfer sumbu XY sesuai dengan kapal sesungguhnya. Dan selanjutnya pilih toolbar Generate.



Gambar V.20 Translate Model Kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya

- Pilih toolbar Create – Slice. Dan selanjutnya pilih toolbar Generate. Hal ini bertujuan untuk mendefinisikan dalam bentuk body di atas air dan body di bawah air.



Gambar V.21 Slice pada geometri Kapal

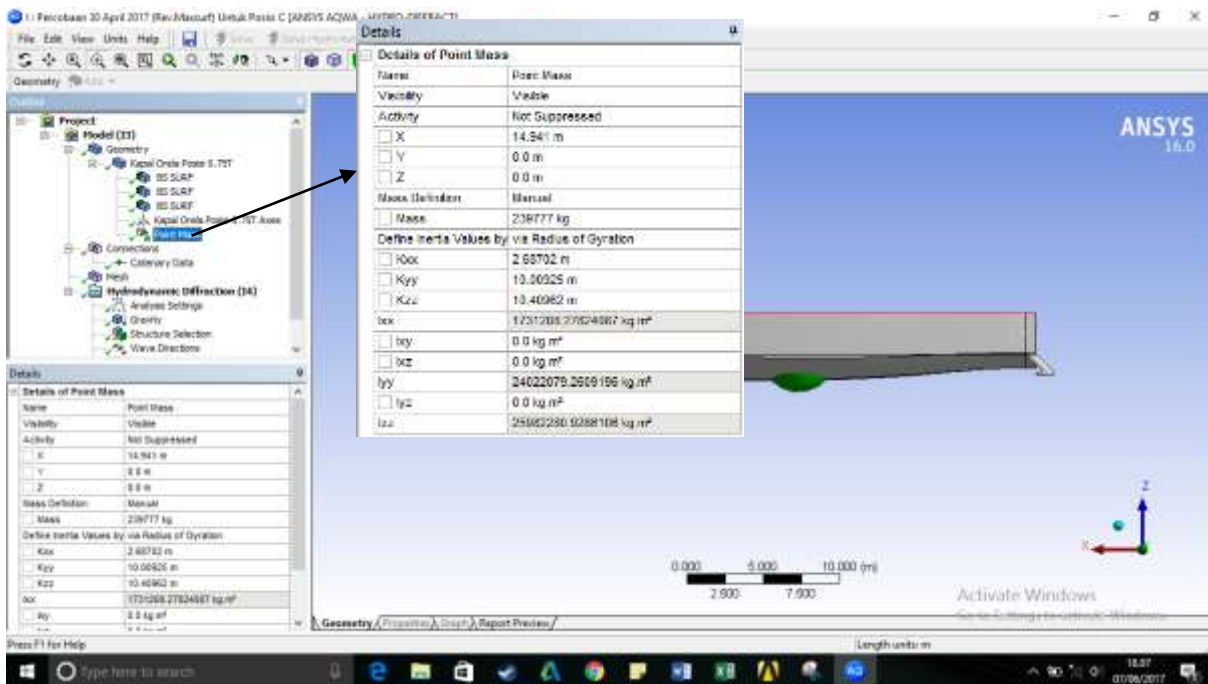
- Yang terakhir adalah menjoin part yang telah terbagi oleh toolbar Slice untuk membuat model kapal menjadi 1 body, dengan cara memilih part yang terpisah kemudian Klik Kanan - Form A New Part.

V.1.5.2. Proses pendefinisian model Kapal *Crew Boat Orela* pada Ansys Aqwa

Untuk mendefinisikan model kapal agar sesuai dengan kondisi aslinya, maka harus menginput beberapa parameter, seperti :

1. Ukuran media
2. Massa Jenis Fluida
3. *Point of mass*
4. *Point of bouyancy*
5. dll

Dalam pendefinisian massa (*Point of mass*) dapat dilakukan secara manual dan otomatis oleh *software* Ansys Aqwa, karena nilai titik berat dari kapal tersebut sudah di dapatkan, sehingga nilai tersebut dimasukan secara manual.



Gambar V.22 Penentuan *point mass* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* dengan kedalaman 0.75T

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian meshing dan parameter model kapal yang dibutuhkan untuk proses *solving* pada *software* Ansys Aqwa. Langkah ini adalah salah satu bagian terpenting dalam pengujian menggunakan *software* ini. Proses ini (*meshing*) bertujuan untuk mendefinisikan kapal menjadi elemen – elemen kecil sehingga nilai hidrodinamis dari model bisa didapatkan. Proses meshing sangat mempengaruhi hasil dari *solving* karena semakin kecil meshing dan semakin banyak jumlah meshing maka akan semakin akurat hasil yang akan didapatkan. Langkah – langkah meshing adalah sebagai berikut ;

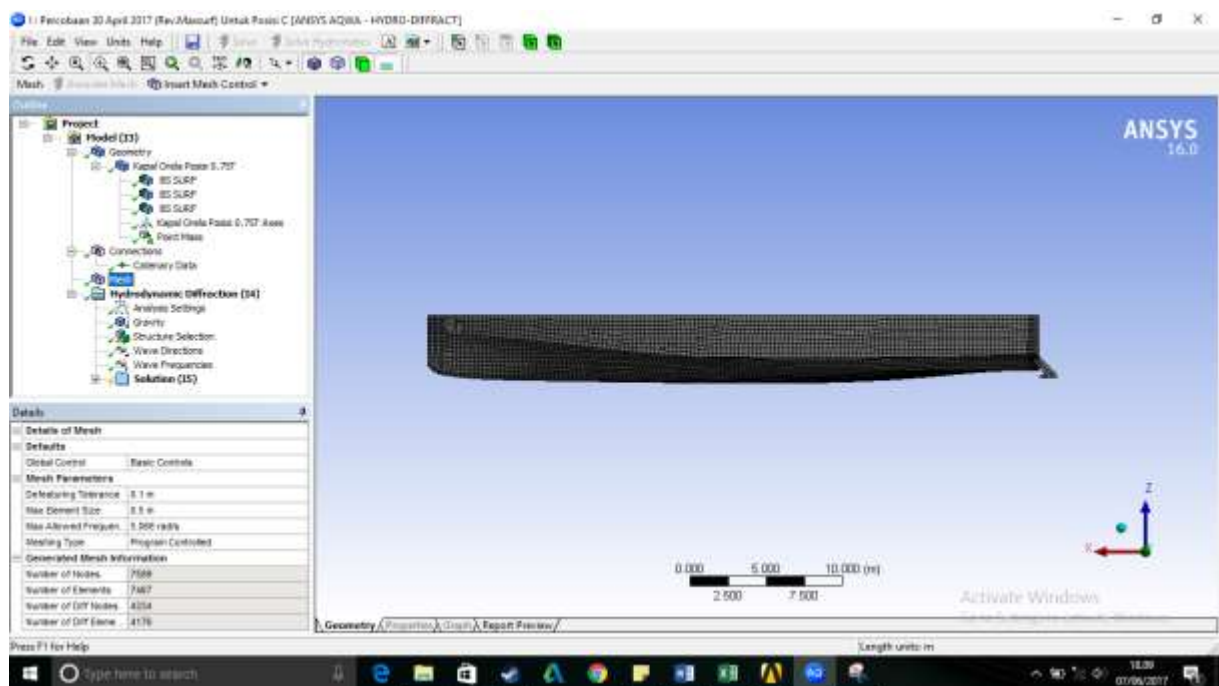
- Klik kanan pada pohon perintah Mesh – Insert Mesh Control – Sizing.
- Masukkan ukuran mesh yang diinginkan.

Dalam meshing yang dimiliki oleh *software* Ansys Aqwa, ada 3 jenis meshing yaitu;

1. *Surface meshing*
2. *Combined meshing*
3. *Program Controlled*

Semakin kecil ukuran meshing maka akan semakin bagus hasil *solving*, namun tetap harus dilakukan konvergensi untuk mencari nilai meshing optimum. Meshing yang baik adalah meshing diperbanyak pada bagian kapal yang memiliki bentuk yang rumit

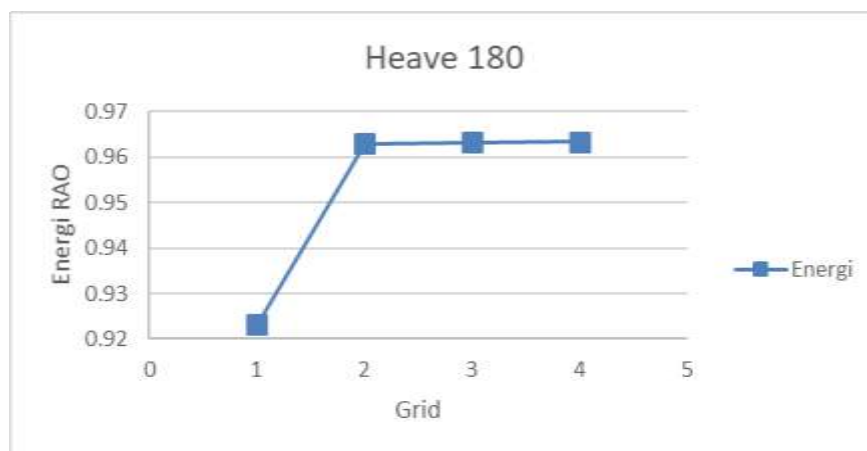
seperti buritan, *foil*, haluan, dll. Contoh hasil meshing dapat dilihat pada Gambar V.23.



Gambar V.23 Generate mesh pada kapal *Crew Boat Orela*

V.1.5.3. Grid Independence Mesh

Meshing akan meningkatkan tingkat ketelitian hasil simulasi yang akan dilakukan, maka dari itu perlu dilakukan penentuan jumlah *meshing* yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan simulasi terhadap model. Semakin tinggi tingkat spesifikasi dari komputer yang akan digunakan maka semakin tinggi pula *meshing* yang akan dapat dibentuk dari model, selain itu banyaknya *meshing* akan membuat semakin lama waktu proses *solving*



Grid	Max Element	Total	Jumlah
------	-------------	-------	--------

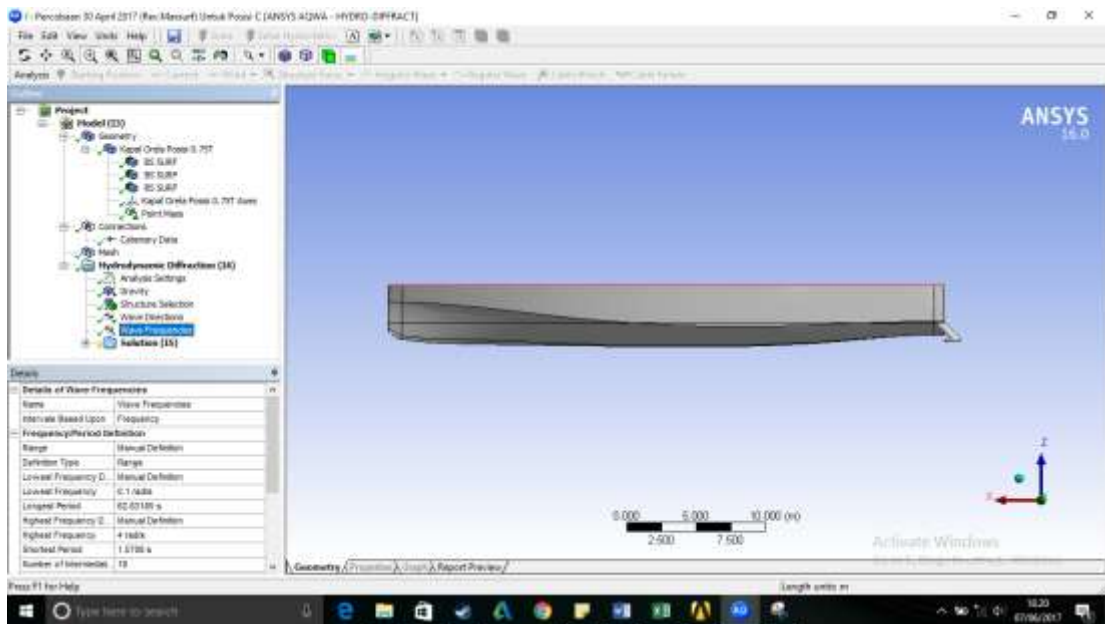
	Size	Element	Node
1	1	2004	2102
2	0.65	4012	4113
3	0.5	7467	7589
4	0.3	15320	15903

Grid	Max Element Size	Area	Selisih (%)
1	1	0.9231	
2	0.65	0.962973	4.319467013
3	0.45	0.963302	0.034165029
4	0.3	0.963324	0.002283811

Dari grafik konvergensi kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* dengan kedalaman 0.75 yang optimum adalah grid yang ke 3 yaitu pada *max element size* 0.5. Pada ukuran yang lebih kecil (0.3) memiliki selisih yang lebih kecil dibandingkan dengan 0.5 akan tetapi waktu yang diperlukan untuk *me-solving*nya hampir 2 kali dari *max element size* sebelumnya. Sehingga *max element size* 0.5 dipilih untuk melakukan *solving* pada kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil belakang* dengan kedalaman 0.75T.

V.1.5.4. Frekuensi gelombang dan Arah Gelombang

Untuk mensimulasikan model kapal *Crew Boat Orela* kita juga harus memasukan parameter dari frekuensi gelombang dan arah gelombang. Adapun arah gelombang yang kita inginkan adalah 180°

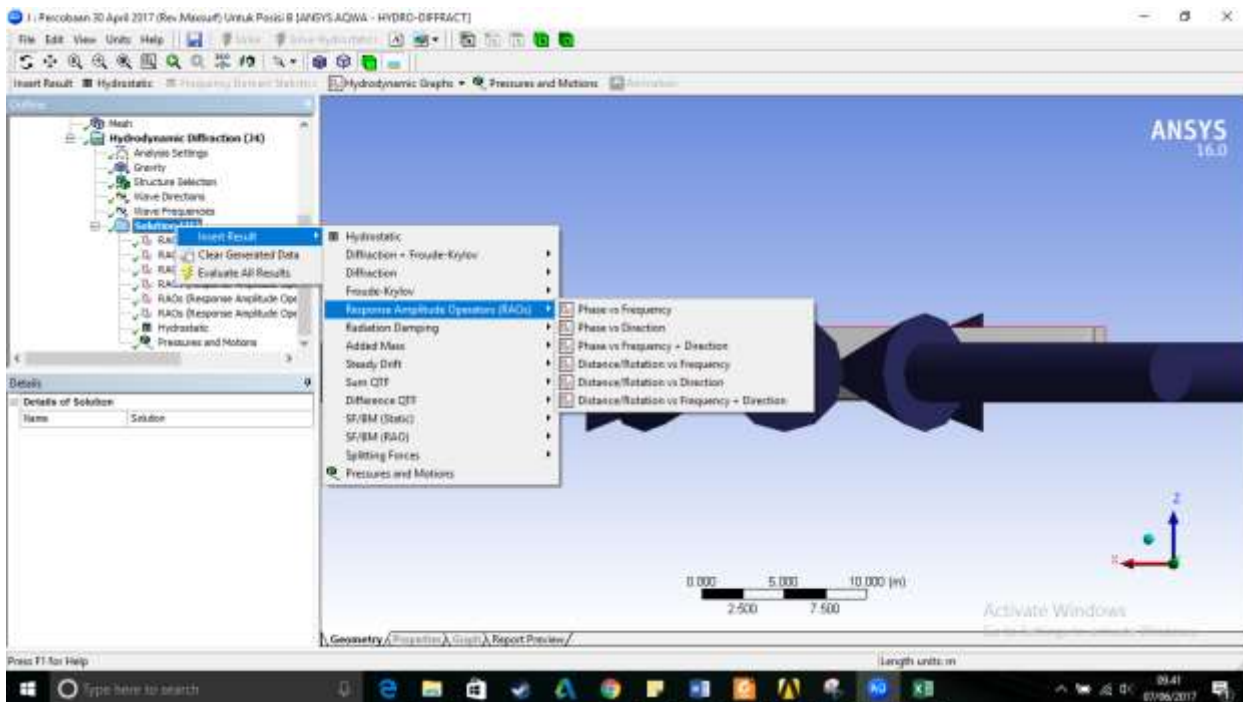


Gambar V.24 Penentuan Wave Frequency pada Ansys Aqwa

V.1.5.5. Menghitung Transfer Fuction Kapal *Crew Boat Orela* pada Ansys Aqwa

Pada proses solving ini adalah proses dimana kita akan menentukan hasil apa yang akan kita inginkan dari simulasi ini Untuk simulasi ini hasil yang dimunculkan adalah RAO dari mdeol kapal menggunakan *foil belakang* dengan kedalaman 1.5T. Langkah – langkah yang harus dilakukan adalah :

- Klik kanan pada Solution – Insert Result – RAOs- Distance/Rotation vs Frequency



Gambar V.25 Proses *Solving* pada Ansys Aqwa

Setelah beberapa langkah tersebut dilakukan maka RAO dari kapal *crew boat* Orela bisa di dapatkan.

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

VI.1. Pendahuluan

Jika pada Bab IV dan V membahas cara memodelkan kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T, selain itu pada bab tersebut juga membahas tentang bagaimana cara mendapatkan RAO (*Respon Amplitude Operator*) nya, maka pada Bab ini akan membahas tentang verifikasi hasil RAO *Box* dan *Cylinder* yang diperoleh dari *software* Ansys Aqwa dengan hasil RAO *Box* dan *Cylinder* yang didapatkan dari *software* WAMIT serta hasil evaluasi respon spektrum pada beberapa tinggi gelombang signifikan (H_s) dengan menggunakan spektrum gelombang ITTC.

VI.2. Validasi Box

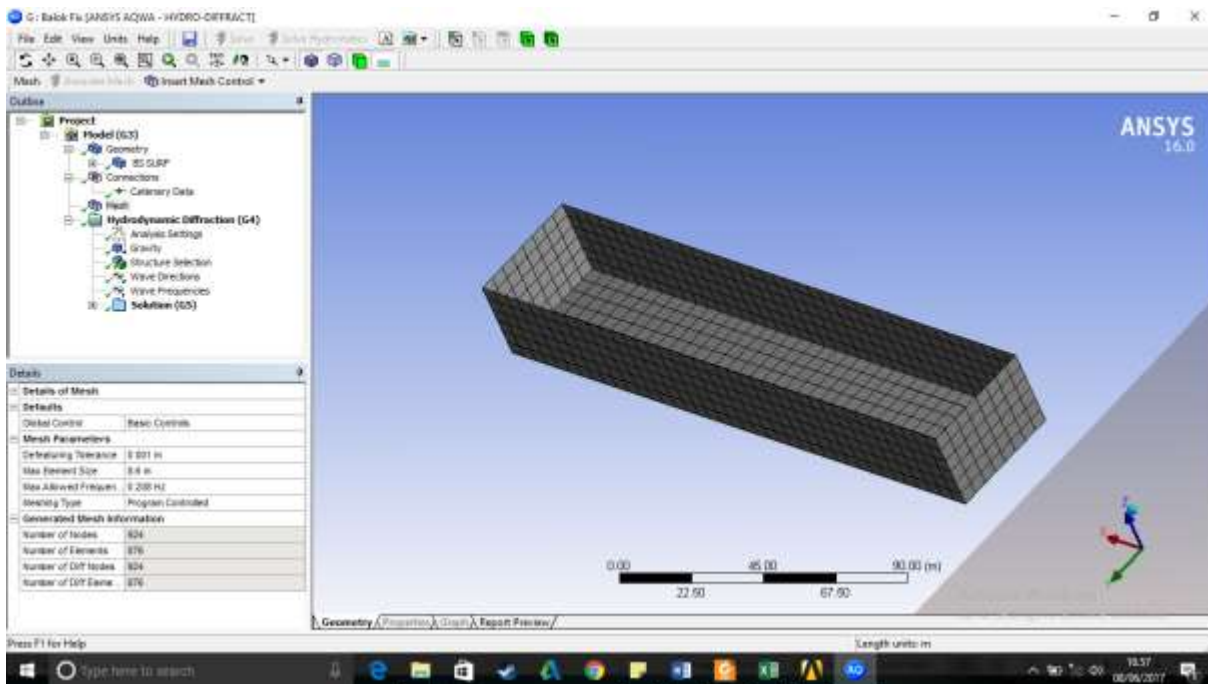
Validasi hasil RAO yang dihasilkan oleh *software* Ansys Aqwa diperlukan setelah melakukan *solving* model kapal *Crew Boat Orela*, hal yang pertama dilakukan adalah memastikan parameter inputan yang digunakan pada Ansys Aqwa sudah benar. Paper yang digunakan untuk melakukan validasi ini berjudul “Hydrodynamic Analys Comparison Study” oleh McDermot. Dari paper tersebut, kita dapat memvalidasi dengan model – model yang digunakan sebagai objek penelitian untuk perhitungan RAO dari enam derajat kebebasan. Dengan menggunakan model yang sama, kita memvalidasi dengan hasil RAO *Box* yang terdapat pada paper tersebut. Ukuran model *box* yang terdapat pada paper tersebut adalah sebagai berikut :

- Panjang (m) : 200
- Lebar (m) : 40
- Sarat (m) : 28
- Displacement (ton) : 229.645
- Center of Gravity (KG) : 28
- Jumlah panel : 1264

Dengan ukuran tersebut, model balok dapat dibuat pada Maxsurf Modeler dengan membuat surface balok dan kemudian menyesuaikan ukurannya dengan ukuran dari paper tersebut.

Setelah itu, balok tersebut di import ke dalam Ansys Aqwa untuk di analisis dengan ketentuan sebagai berikut :

- Water Depth (m) : 1000
- Water Density (Kg/m²) : 1025
- Total Structural Mass (Kg) : 229645000.126
- Kxx (m) : 12.20656
- Kyy (m) : 54.88372
- Kzz : 55.34639
- Number Of Element : 3044
- Gravity (m/s²) : 9.80665
- Stern Quatering Head Seas ($\mu = 45^\circ$)
- Longest Period : 42
- Shortest Period : 4
- Interval Period : 2



Gambar VI.1 Meshing Balok pada Ansys Aqwa

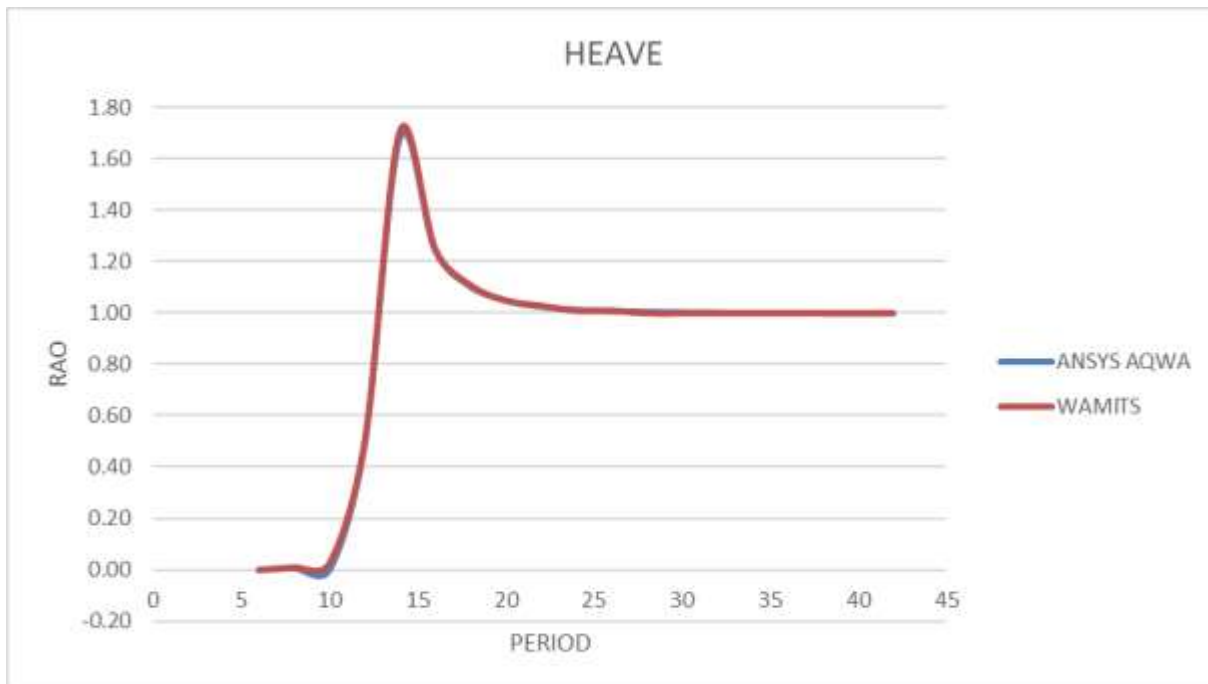
VI.2.1. Respon Amplitude Operator (RAO)



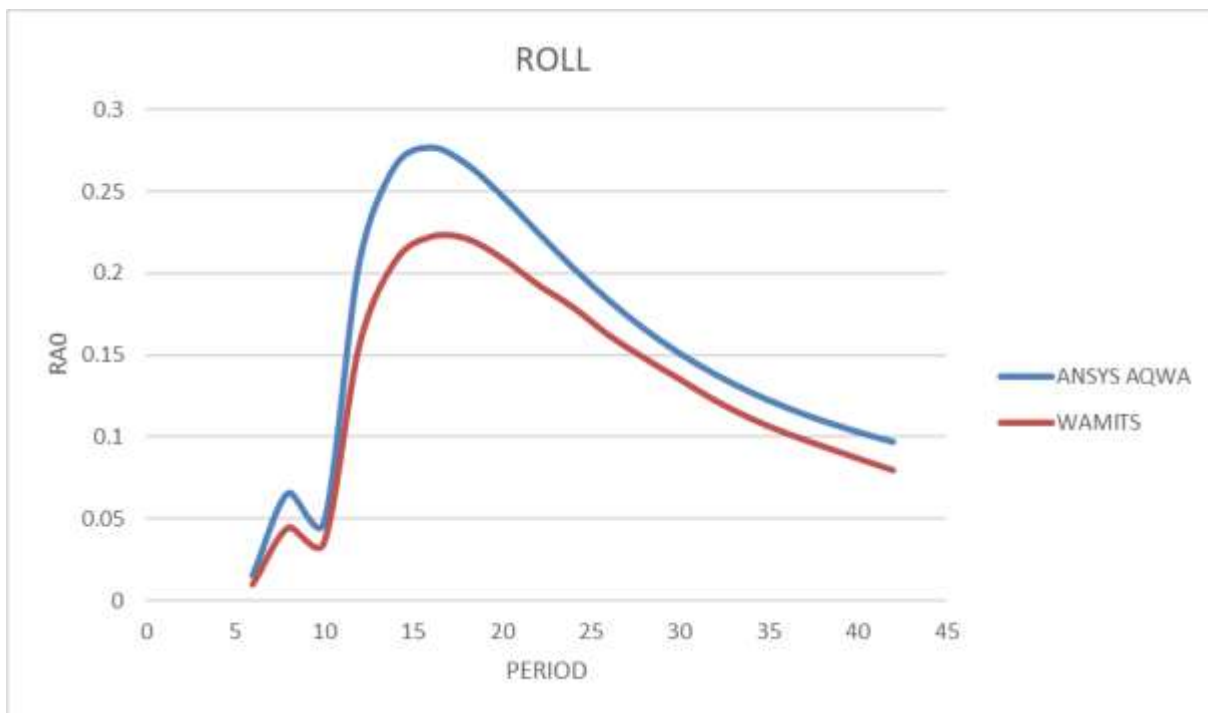
Gambar VI.2 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Surge



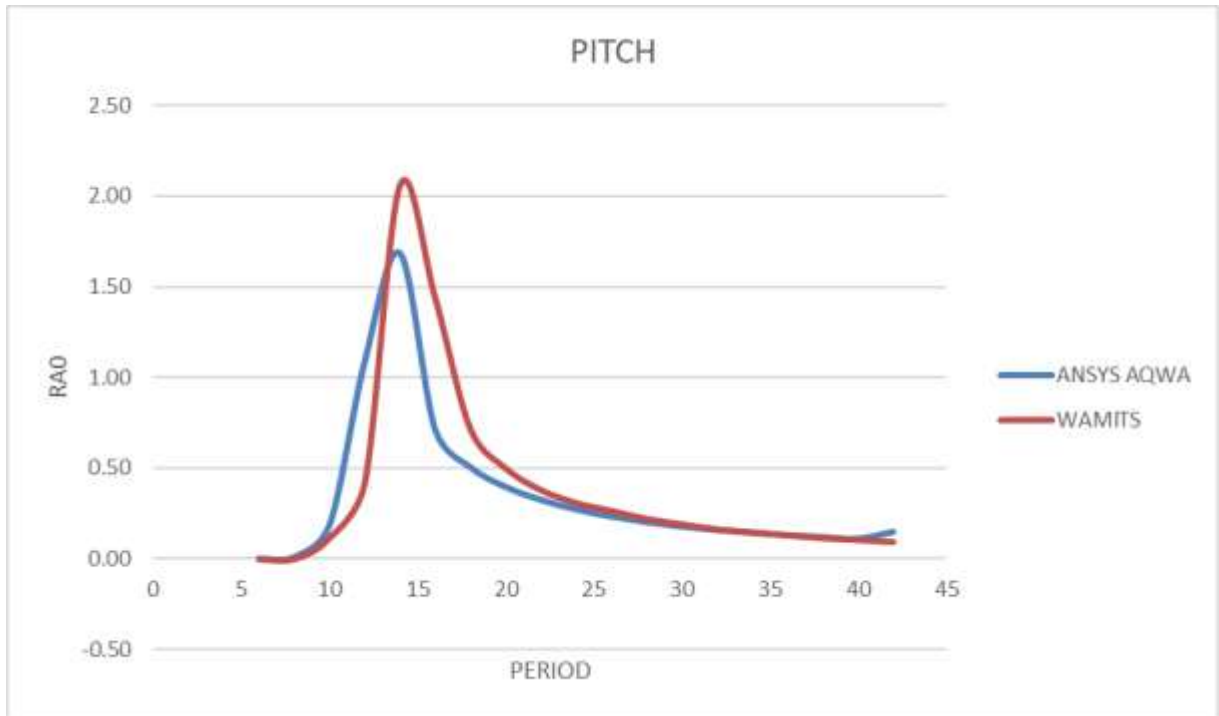
Gambar VI.3 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Sway



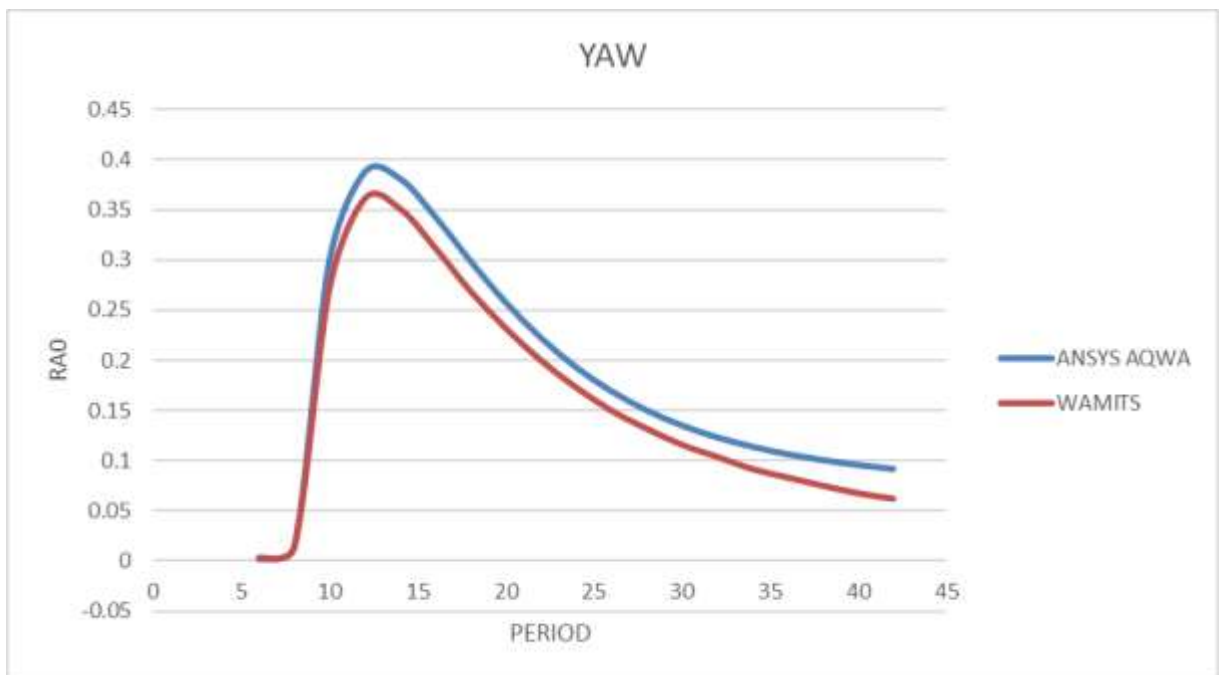
Gambar VI.4 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Heave



Gambar VI.5 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Roll



Gambar VI.6 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Surge Pitch



Gambar VI.7 Perbandingan RAO Box Ansys Aqwa dengan RAO Box WAMITS pada gerakan Yaw

VI.3. Hasil Pengujian Eksperimen

Model kapal *Crew Boat Orela* diuji pada gelombang reguler dengan rentang periode dari 0.5 s sampai dengan 1.7 s, dengan sudut hadap 180° , pada kondisi kecepatan 0 Knot dan 22 Knot dan juga tinggi setengah gelombang (Amplitudo) adalah 1.2 cm, dimana hasil akhir yang diperoleh dari hasil uji eksperimen ini berupa RAO (*Respon Amplitude Operator*).

Untuk mengetahui besarnya RAO kapal tersebut, hasil simpangan yang dihasilkan dari Amplifier dikonversi sehingga didapatkan persamaa untuk *Heave* dan *Pitch*. Namun sebelum melakukan hal tersebut, perlu dilakukan konversi periode gelombang yang di uji pada model kapal, dimana konversi tersebut menggunakan Table VI.1 berikut :

Table VI.1 Konversi Parameter Model ke Parameter Kapal Sebenarnya (*Full Scale Vessel*)

Parameter	<i>Full Scale Vessel</i>	Model
Length	L	$\frac{L}{\lambda}$
Time	T	$\frac{t}{\lambda^2}$
Velocity	V	$\frac{V}{\lambda^{\frac{1}{2}}}$
Frequency	ω	$\omega \lambda^{\frac{1}{2}}$

Dimana λ adalah skala dari model kapal tersebut yaitu 1 : 40, dengan persamaan yang di dapatkan dari Table VI.1 kita dapat menggunakannya untuk mengkonversi periode model ke periode kapal sebenarnya (*Full Scale Vessel*) seperti yang dapat kita lihat pada Table VI.2.

Table VI.2 Hasil Konversi Periode Model dengan Periode *Full Scale Vessel*

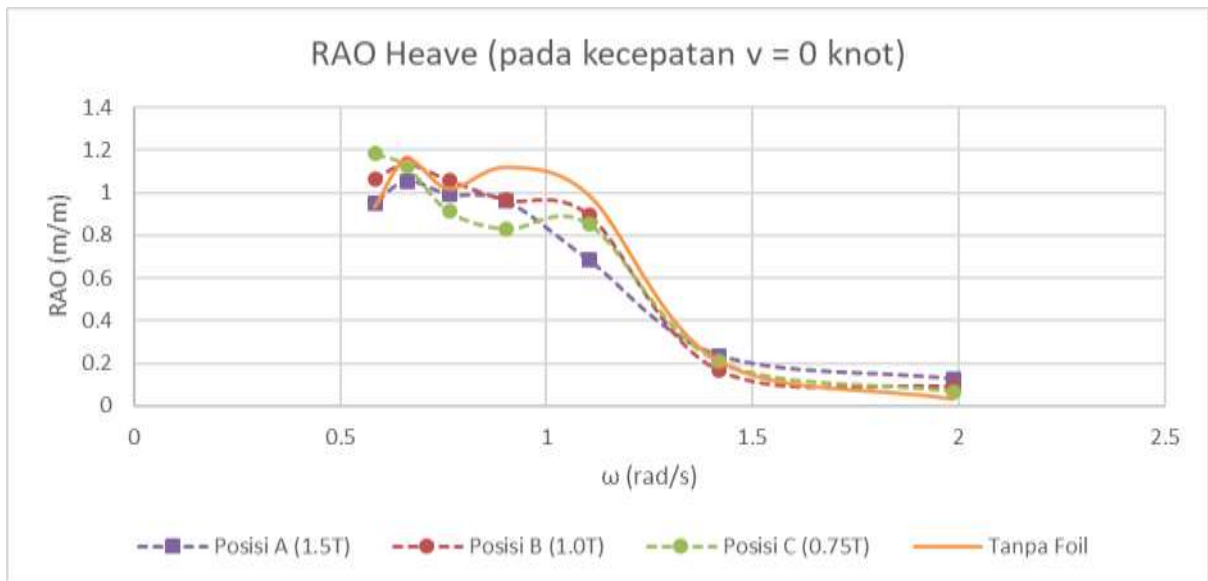
Periode Model (s)	Periode Full Scale (s)	Frekuensi Full Scale (rad/s)	Amplitude Full Scale (m)
0.5	3.16	1.99	0.48
0.7	4.43	1.42	0.48
0.9	5.69	1.10	0.48
1.1	6.96	0.90	0.48
1.3	8.22	0.76	0.48
1.5	9.49	0.66	0.48
1.7	10.75	0.58	0.48

Untuk kapal dalam kondisi melaju (kecepatan $\neq 0$) maka analisis RAO (*Respon Amplitude Operator*) harus memperhitungkan frekuensi papasan serta faktor koreksi arah propagasi gelombang. Dan pada Tabel VI.3 adalah hasil frekuensi papasan (*encounter frequency*) ketika kapal dalam kecepatan 22 knot dan arah gelombang 180°.

Table VI.3 Hasil konversi periode *full scale* dengan frekuensi *encounter full scale*

Frekuensi <i>full scale</i> (rad/s)	Frekuensi papasan <i>full scale</i> (rad/s)
1.99	6.54
1.42	3.74
1.10	2.51
0.90	1.84
0.76	1.44
0.66	1.17
0.58	0.98

Hasil RAO (*Respon Amplitude Operator*) pengujian eksperimen dengan menggunakan model kapal *Crew Boat Orela* tanpa dan menggunakan *foil* dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T adalah sebagai berikut :

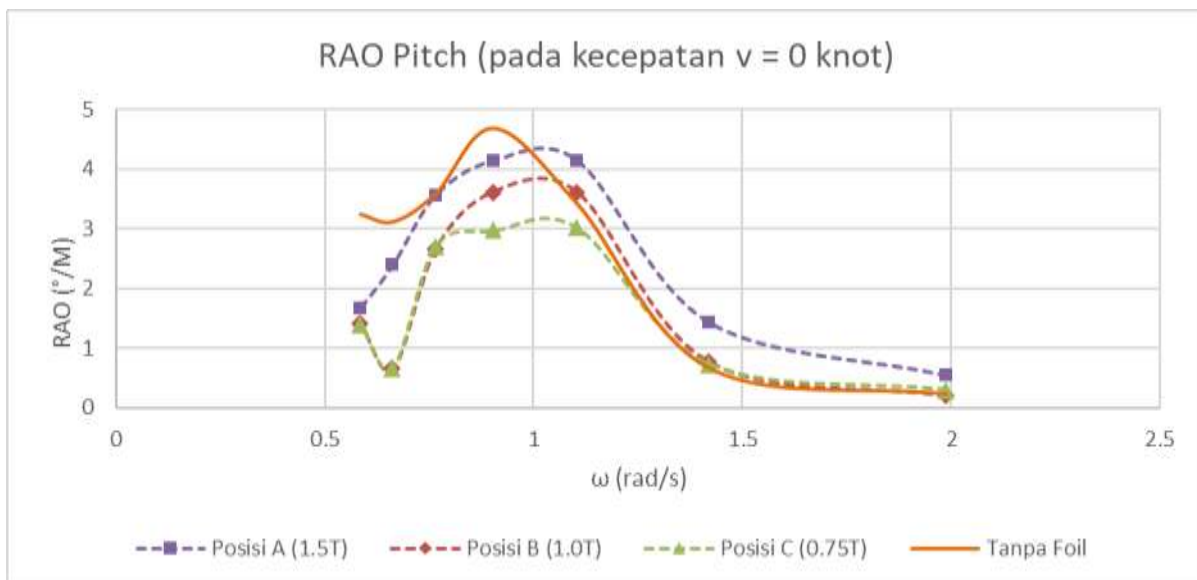


Gambar VI.8 Hasil Perbandingan RAO *Heave* pada Kecepatan 0 Knot

Dari Gambar VI.8 yang merupakan hasil pengujian eksperimen gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* pada kondisi kecepatan 0 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *Heave* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0,75T.

Terlihat pada frekuensi 0.58 rad/s, respon gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T sebesar 0.95 m/m. Hasil ini lebih kecil dibandingkan dengan respon gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T yaitu sebesar 1.06 m/m dan respon gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T yaitu sebesar 1.18 m/m.

Seperti yang kita lihat pada Gambar VI.8, respon gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang pada kedalaman *foil* 1.5T lebih baik, hal tersebut dimungkinkan karena volume air yang berada di atas *foil* menahan gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* sehingga semakin dalam kedalaman *foil* maka akan memperbaiki gerakan *heave*.



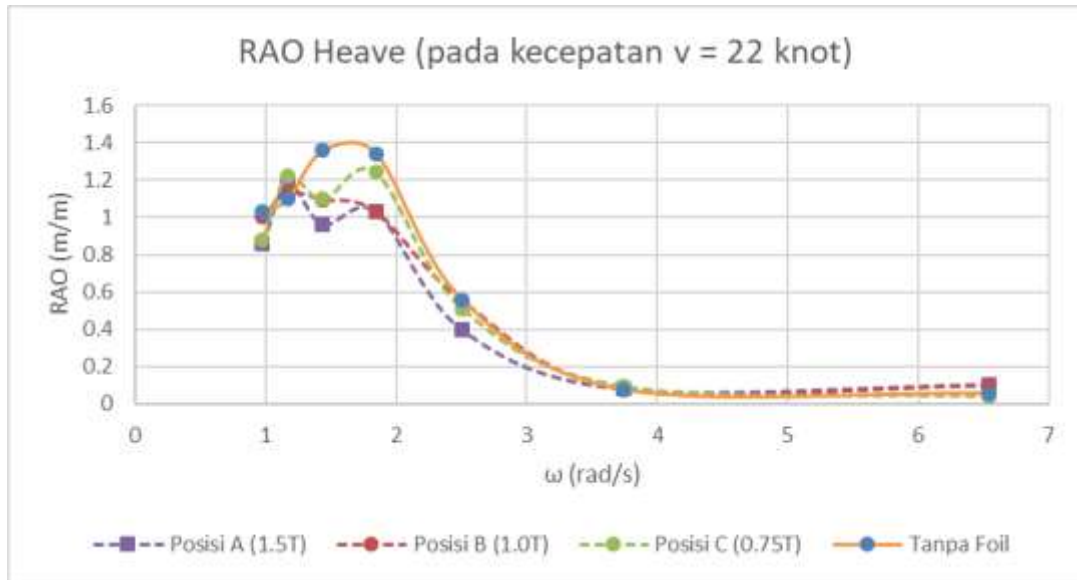
Gambar VI.9 Hasil Perbandingan RAO *Pitch* dengan Kecepatan 0 Knot

Dari Gambar VI.9 yang merupakan hasil pengujian eksperimen gerakan *Pitch* dari kapal *Crew Boat Orela* pada kondisi kecepatan 0 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *Pitch* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0,75T.

Terlihat pada frekuensi 0.90 rad/s, respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T sebesar 3.022 °/m. Hasil ini lebih kecil dibandingkan dengan respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T yaitu sebesar 3.60 °/m dan respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T yaitu sebesar 4.142 °/m.

Seperti yang kita lihat pada Gambar VI.9, respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang pada kedalaman *foil* 1.5T tidak begitu baik, hal tersebut

dimungkinkan karena volume air yang berada di atas *foil* menahan gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* akan tetapi membuat respon gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela* menjadi lebih besar karena *foil* tersebut membuat keselarasan gerakan antara haluan kapal dan buritan kapal.

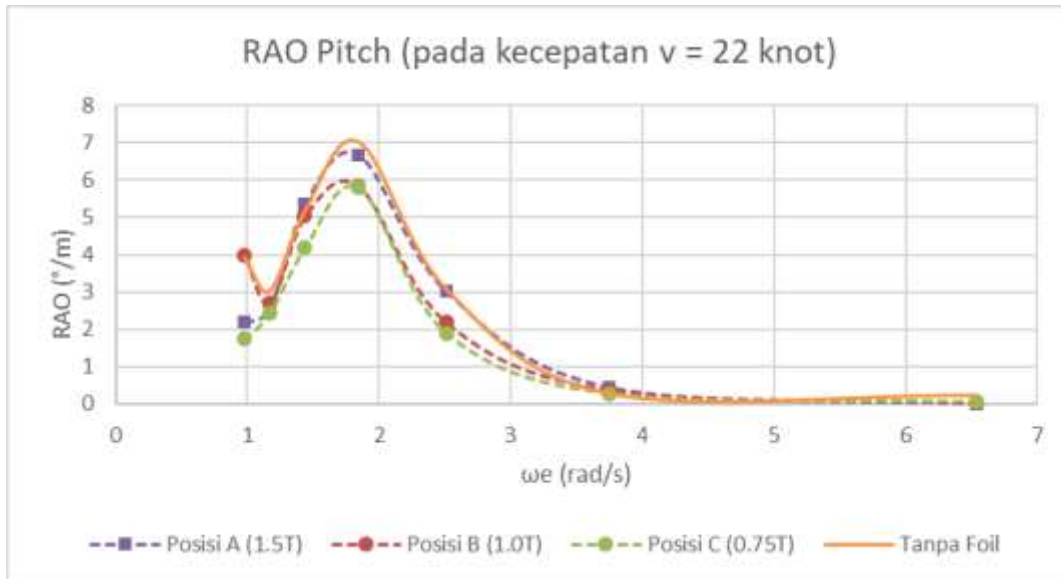


Gambar VI.10 Hasil Perbandingan RAO *Heave* pada $F_n = 0.571$

Dari Gambar VI.10 yang merupakan hasil pengujian eksperimen gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* pada kondisi kecepatan 22 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *Heave* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T.

Terlihat pada frekuensi *encounter* 1.844 rad/s, respon gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T dan 1T sebesar 1.033 m/m. Hasil ini lebih kecil dibandingkan dengan respon gerakan *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T yaitu sebesar 1.06 m/m.

Sesuai dengan Gambar VI.10 juga memberikan hasil yang sama terhadap kondisi *Heave* pada kecepatan 22 Knot, dimana respon gerakan kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan foil 1.5T akan memberikan gerakan *heave* yang lebih baik dibandingkan foil dengan kedalaman yang lebih.



Gambar VI.11 Hasil Perbandingan RAO *Pitch* $F_n = 0.571$

Dari Gambar VI.11 yang merupakan hasil pengujian eksperimen gerakan *Pitch* dari kapal *Crew Boat Orela* pada kondisi kecepatan 22 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *Pitch* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan foil belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0,75T.

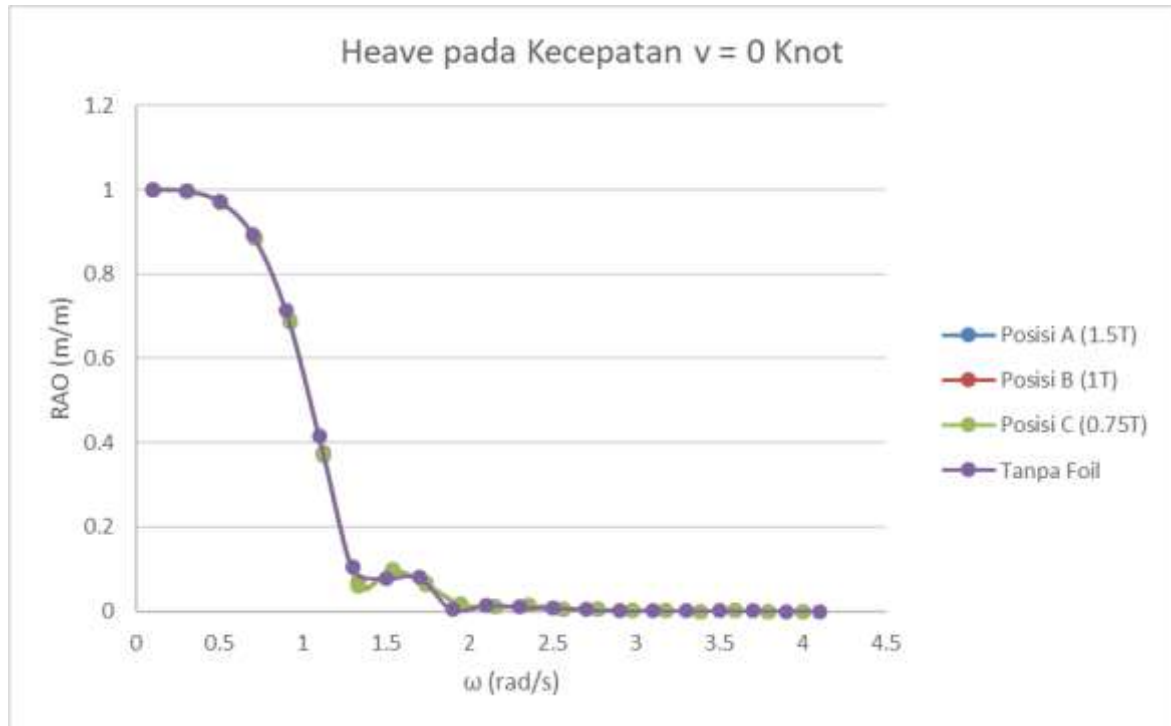
Terlihat pada frekuensi *encounter* 1.844 rad/s, respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T sebesar 5.799 °/m. Hasil ini lebih kecil dibandingkan dengan respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T yaitu sebesar 5.839 °/m dan respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T yaitu sebesar 6.682 °/m.

Seperti yang kita lihat pada Gambar VI.11, respon gerakan *Pitch* kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang pada kedalaman *foil* 1.5T tidak begitu baik, hal tersebut dimungkinkan karena volume air yang berada di atas *foil* menahan gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* akan tetapi membuat respon gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela* menjadi lebih besar karena *foil* tersebut membuat keselarasan gerakan antara haluan kapal dan buritan kapal.

VI.4. Hasil Pengujian Aqwa

Selanjutnya model kapal *Crew Boat Orela* di uji menggunakan *software* Ansys Aqwa pada gelombang reguler dengan rentang periode dari 0 rad/s sampai dengan 4 rad/s, dengan sudut hadap 180°, pada kondisi kecepatan 0 Knot dan 22 Knot dan juga tinggi setengah gelombang (Amplitudo) adalah 1 m, dimana hasil akhir yang diperoleh dari hasil uji numeris menggunakan *software* Ansys Aqwa ini berupa RAO (*Respon Amplitude Operator*).

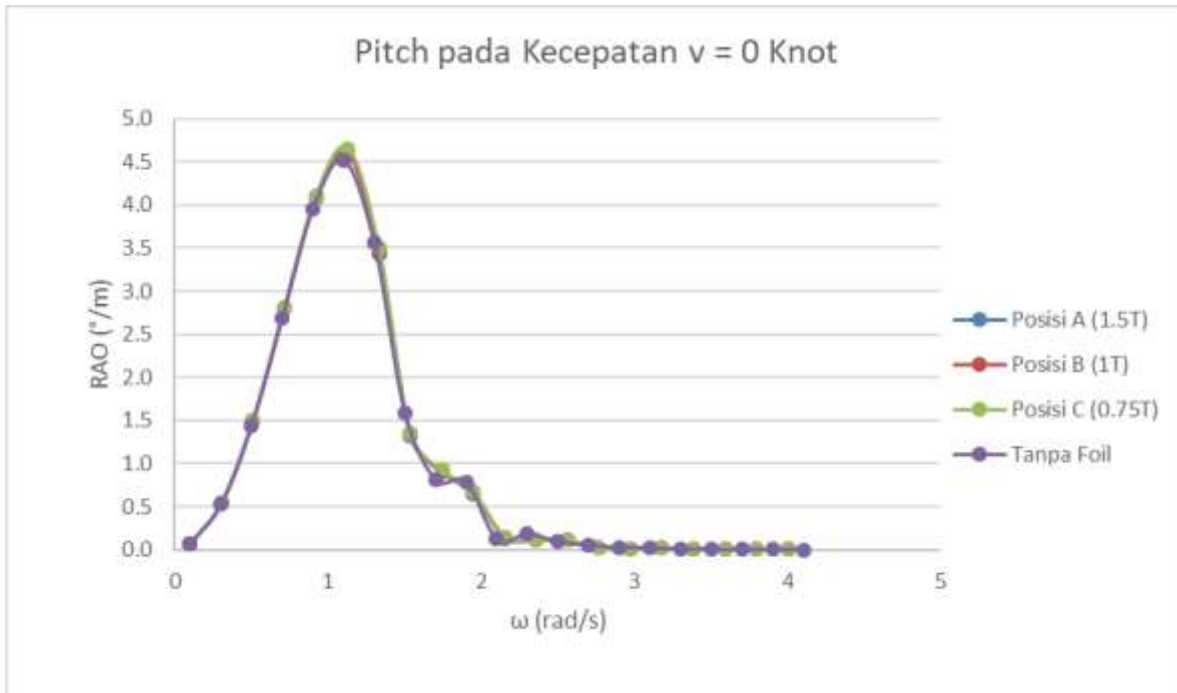
Selanjutnya hasil dari RAO (*Respon Amplitude Operator*) pengujian numeris menggunakan *software* Ansys Aqwa dengan menggunakan model kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T adalah sebagai berikut :



Gambar VI.12 Hasil perbandingan RAO *Heave* pada Kecepatan 0 Knot

Dari Gambar VI.12 yang merupakan hasil perbandingan RAO *Heave* pada Kecepatan 0 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *heave* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T. Respon gerakan *heave* paling besar terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s dimana respon gerakan *heave* mencapai 0.999 m/m untuk kedalaman *foil* belakang 1.5T, 1T dan 0.75T.

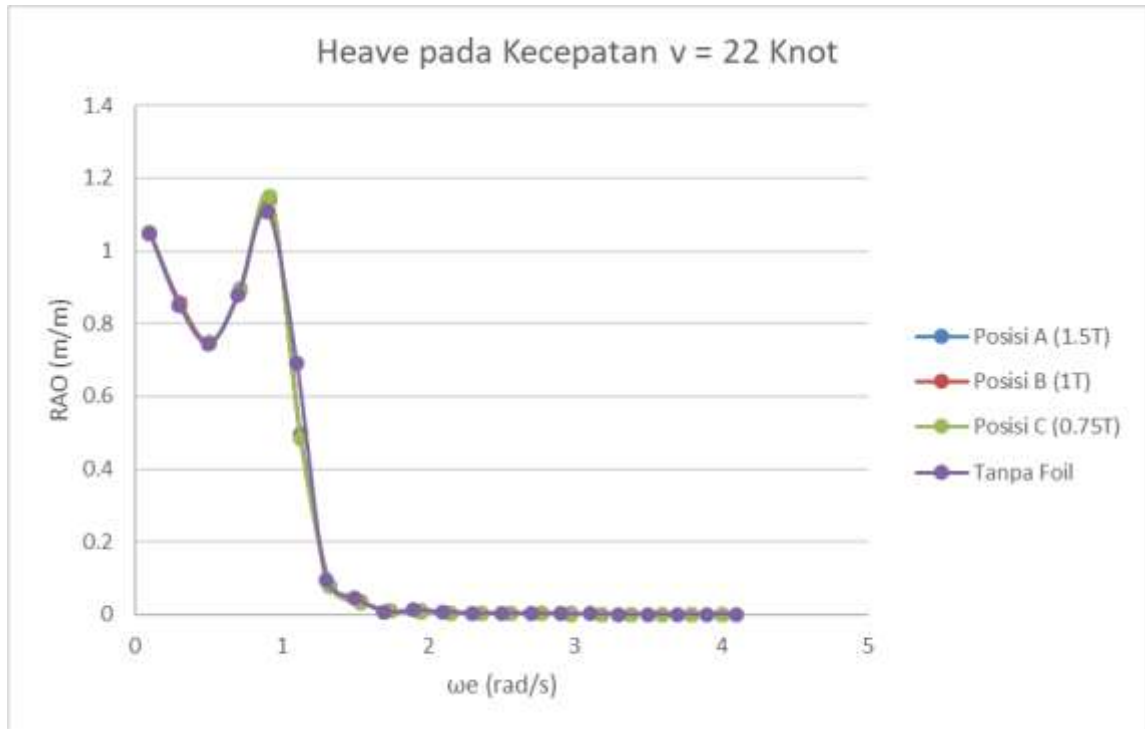
Berdasarkan gambar tersebut, kita terdapat perbedaan yang sangat kecil (hampir sama) pada setiap posisi *foil* belakang dari kapal *Orela*, akan tetapi pada pengujian eksperimen terdapat perbedaan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat Orela* sehingga kemungkinan Ansys Aqwa tidak dapat menganalisa perbedaan respon gerakan *pitch* pada kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan perbedaan kedalaman *foil* belakang.



Gambar VI.13 Hasil perbandingan RAO *Pitch* pada Kecepatan 0 Knot

Dari Gambar VI.13 yang merupakan hasil perbandingan RAO *Pitch* pada Kecepatan 0 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *pitch* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T. Respon gerakan *pitch* paling besar terjadi pada frekuensi 1.126 rad/s dimana respon gerakan *pitch* mencapai 4.6 °/m untuk kedalaman *foil* belakang 1.5T, 1T dan 0.75T.

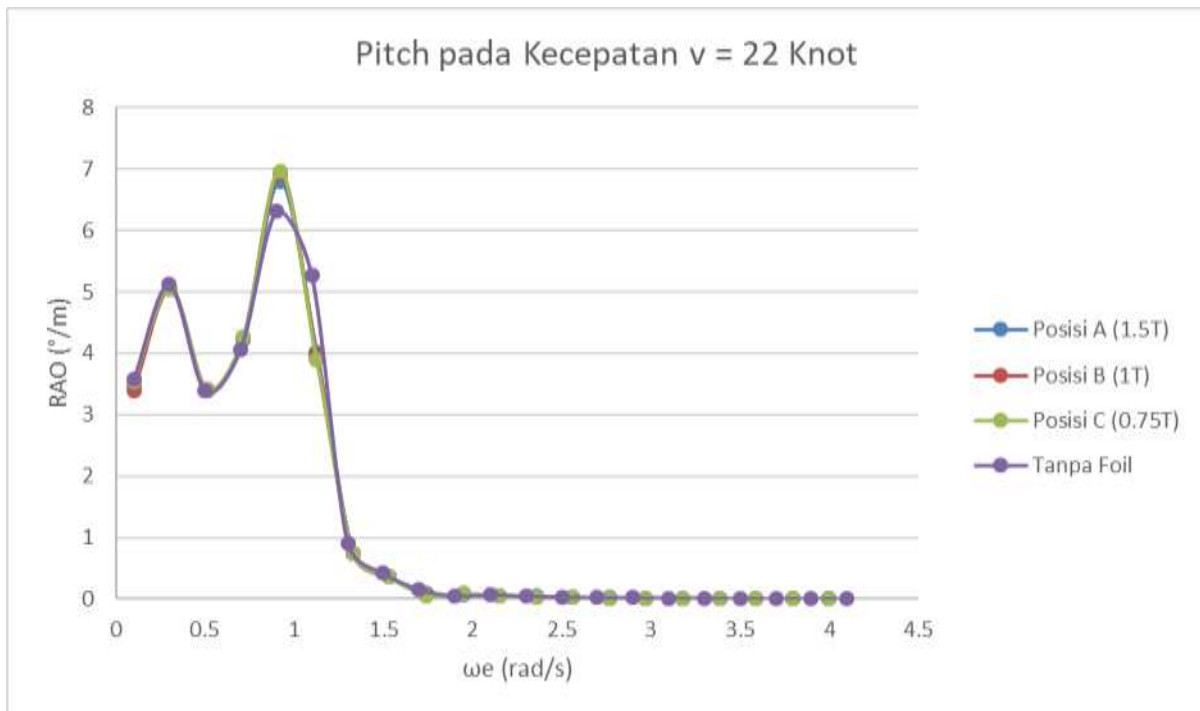
Berdasarkan gambar tersebut, kita terdapat perbedaan yang sangat kecil (hampir sama) pada setiap posisi *foil* belakang dari kapal *Orela*, akan tetapi pada pengujian eksperimen terdapat perbedaan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat Orela* sehingga kemungkinan Ansys Aqwa tidak dapat menganalisa perbedaan respon gerakan *pitch* pada kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan perbedaan kedalaman *foil* belakang.



Gambar VI.14 Hasil perbandingan RAO *Heave* pada kecepatan 22 knot

Dari Gambar VI.14 yang merupakan hasil perbandingan RAO *Heave* pada Kecepatan 22 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *heave* dari kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T. Respon gerakan *heave* paling besar terjadi pada frekuensi 1.899 rad/s dimana respon gerakan *heave* mencapai 1.141 m/m untuk kedalaman *foil* belakang 1.5T, lebih kecil dibandingkan dengan respon gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T yaitu 1.44 m/m dan yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T yaitu 1.503 m/m.

Berdasarkan gambar tersebut, kita terdapat perbedaan yang sangat kecil (hampir sama) pada setiap posisi *foil* belakang dari kapal *Orela*, akan tetapi pada pengujian eksperimen terdapat perbedaan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat Orela* sehingga kemungkinan Ansys Aqwa tidak dapat menganalisa perbedaan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan perbedaan kedalaman *foil* belakang.



Gambar VI.15 Hasil perbandingan RAO *Pitch* pada kecepatan 22 knot

Dari Gambar VI.15 yang merupakan hasil perbandingan RAO *Pitch* pada Kecepatan 22 Knot, kita dapat melihat perbandingan respon gerakan *pitch* dari kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75T. Respon gerakan *pitch* paling besar terjadi pada frekuensi 1.899 rad/s dimana respon gerakan *pitch* mencapai 6.8 °/m untuk kedalaman *foil* belakang 1.5T, 1T dan 0.75T.

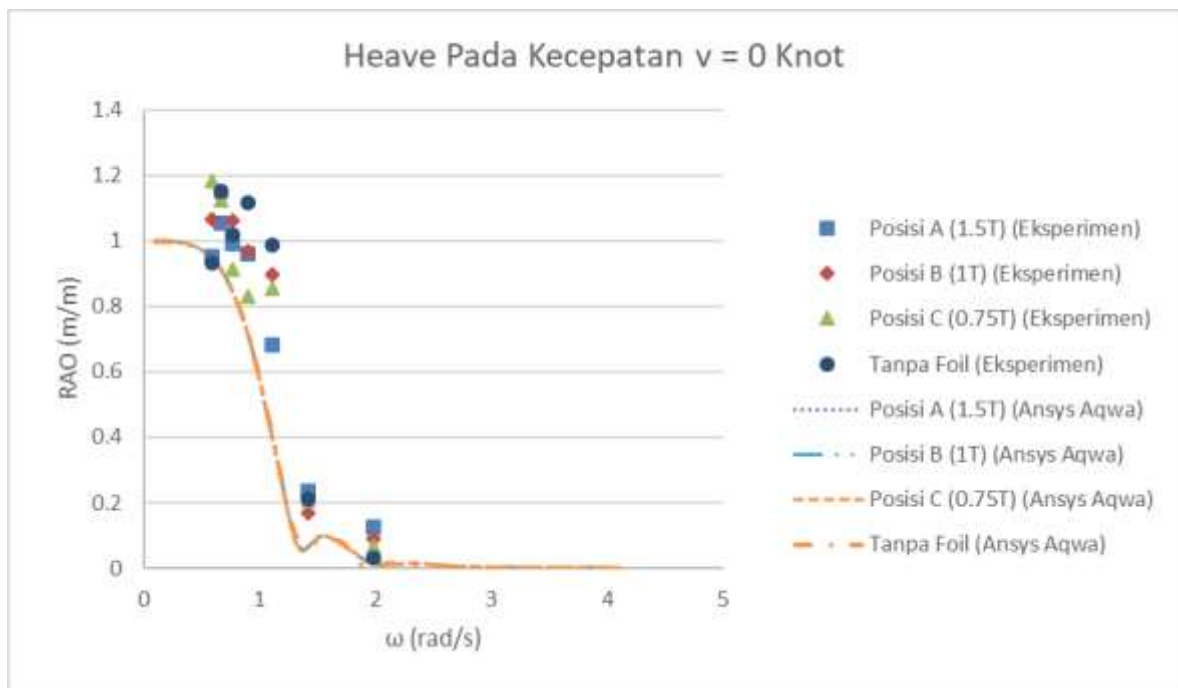
Berdasarkan gambar tersebut, kita terdapat perbedaan yang sangat kecil (hampir sama) pada setiap posisi *foil* belakang dari kapal Orela, akan tetapi pada pengujian eksperimen terdapat perbedaan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat* Orela sehingga kemungkinan Ansys Aqwa tidak dapat menganalisa perbedaan respon gerakan *pitch* pada kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan perbedaan kedalaman *foil* belakang.

Berdasarkan Gambar VI.12 sampai dengan Gambar VI.15, kita dapat melihat bahwa tidak ada perbedaan hasil RAO *Pitch* maupun *Heave* pada setiap posisi kedalaman *foil* 1.5T sampai 0.75T, hal tersebut mungkin dikarenakan peneliti tidak menambahkan *damping coefficient* dan *added mass* sehingga hasil RAO pada Ansys Aqwa tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan pada perubahan kedalaman posisi *foil*.

VI.5. Validasi Hasil RAO (*Respon Amplitude Operator*) dari Pengujian Eksperimen dengan Hasil Pengujian Ansys Aqwa

RAO (*Respon Amplitude Operator*) yang didapatkan dari pengujian eksperimen *Towing Tank* yang telah dilakukan pada tanggal 17-19 Mei 2017 di Laboratorium Hidrodinamika ITS digunakan untuk perbandingan dengan RAO (*Respon Amplitude Operator*) yang didapatkan dari Ansys Aqwa sehingga data – data RAO dari kedua tersebut dapat dikatakan valid.

Berikut perbandingan hasil RAO (*Respon Amplitude Operator*) yang didapatkan dari pengujian eksperimen dan pengujian numeris menggunakan *software* Ansys Aqwa.



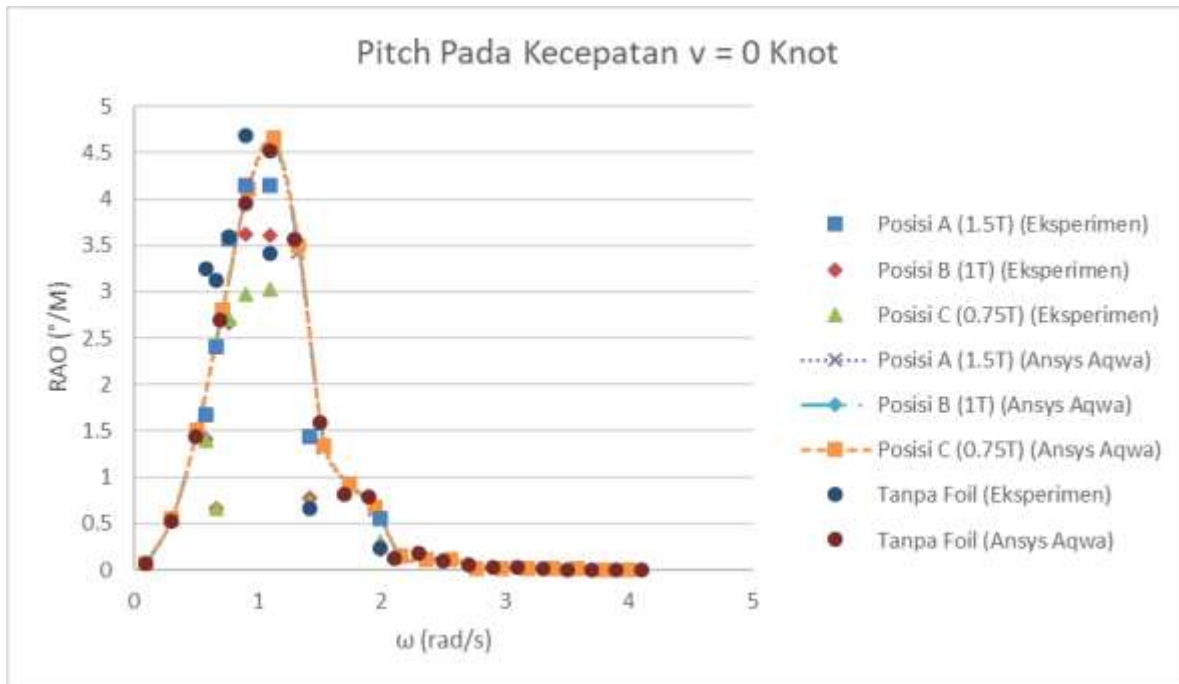
Gambar VI.16 Perbandingan hasil RAO *Heave* Ansys Aqwa dan Eksperimen pada kecepatan 0 Knot

Berdasarkan gambar IV.16 dapat dilihat perubahan yang terjadi pada respon gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75 T.

Berdasarkan pengujian eksperimen daerah kritis yang disebabkan resonansi terjadi pada frekuensi 0.66 rad/s. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi - frekuensi diatas frekuensi naturalnya yang disebut sebagai daerah sub-kritis. Diatas frekuensi natural ini ada kenaikan sedikit yang disebut sebagai resonansi sekunder, dimana puncaknya relatif rendah dibandingkan dengan resonansi yang terjadi pada frekuensi natural. Dapat dilihat bahwa resonansi sekunder terjadi pada frekuensi 1.53 rad/s. Pada frekuensi 0.76 rad/s terjadi

penurunan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T sebesar 1.09 m/m dan kedalaman 1T yaitu 1.06 m/m serta 0.75T yaitu 0.913 m/m.

Hal ini terjadi karena adanya gaya eksitasi pada *foil* belakang, dimana pada posisi kedalaman 1.5T gaya eksitasi tersebut, lebih besar sehingga menyebabkan gerakan yang lebih besar dibandingkan dengan posisi kedalaman 1.0T dan 0.75T.



Gambar VI.17 Perbandingan hasil RAO *Pitch* Ansys Aqwa dan Eksperimen pada kecepatan 0 knot

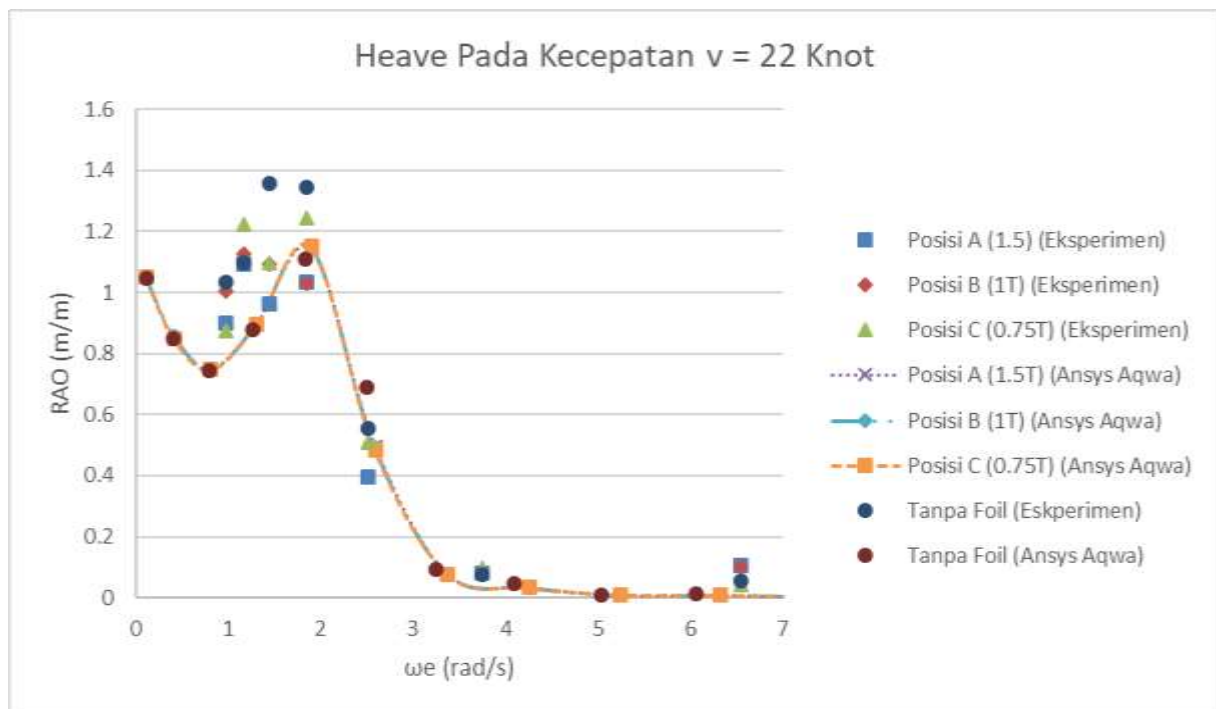
Berdasarkan gambar IV.17 dapat dilihat perubahan yang terjadi pada respon gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75 T.

Terlihat pada gambar tersebut berdasarkan Ansys Aqwa, terjadi kenaikan dari frekuensi 0.1 rad/s sampai dengan frekuensi 1.126 rad/s menjadi daerah kritis karena resonansi gerakan terjadi pada frekuensi tersebut. Dengan kata lain 1.126 rad/s merupakan frekuensi natural.

Sedangkan berdasarkan pengujian eksperimen daerah kritis yang disebabkan resonansi terjadi pada frekuensi 1.103 rad/s. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi - frekuensi diatas frekuensi naturalnya yang disebut sebagai daerah sub-kritis. Pada frekuensi 1.103 rad/s terjadi penurunan respon gerakan *pitch* pada kapal *Crew Boat Orela* yang

menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T sebesar 3.022 °/m dibandingkan dengan kedalaman 1T yaitu 3.604 °/m dan 1.5T yaitu 4.142 °/m.

Hal ini mungkin disebabkan perubahan titik LCG dan LCB yang disebabkan oleh penambahan *foil* pada variasi kedalaman tersebut (1.5T, 1.0T dan 0.75T). Dimana pada posisi *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, *foil* mengakibatkan perubahan titik LCG kapal sehingga menyebabkan *pitching* yang lebih besar dibandingkan dengan 0.75T. Berdasarkan maxsurf, perubahan titik LCB pada *foil* 1.5T, 1.0T dan 0.75T antara lain 15.294 , 15.297 dan 15.299 dari titik AP.

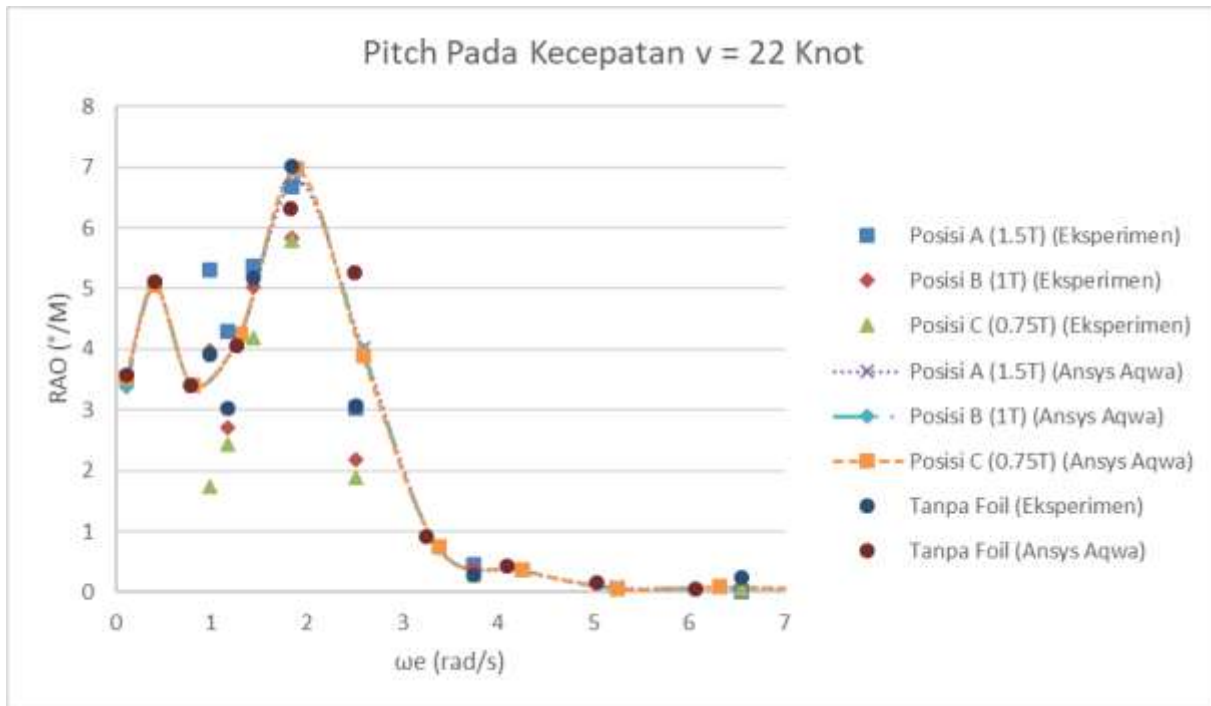


Gambar VI.18 Perbandingan hasil RAO Heave Ansys Aqwa dan Eksperimen pada $F_n = 0.5718$

Berdasarkan gambar IV.18 dapat dilihat perubahan yang terjadi pada respon gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75 T.

Berdasarkan pengujian eksperimen daerah kritis yang disebabkan resonansi terjadi pada frekuensi 1.844 rad/s. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi - frekuensi diatas frekuensi naturalnya yang disebut sebagai daerah sub-kritis. Pada frekuensi 1.844 rad/s terjadi penurunan respon gerakan *heave* pada kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T dan 1T karena memiliki nilai yang hampir sama yaitu sebesar 1.03 m/m dibandingkan dengan *foil* dengan kedalaman 0.75T yaitu 1.12 m/m.

Hal ini terjadi karena adanya gaya eksitasi pada *foil* belakang, dimana pada posisi kedalaman 1.5T gaya eksitasi tersebut, lebih besar sehingga menyebabkan gerakan yang lebih besar dibandingkan dengan posisi kedalaman 1.0T dan 0.75T. Akan tetapi pada kecepatan 22 knot, kapal mengalami *lift* yang sebabkan oleh *foil* tersebut sehingga gerakan tersebut mengurangi gerakan yang terjadi pada kapal.



Gambar VI.19 Perbandingan hasil RAO *Pitch* Ansys Aqwa dan Eksperimen pada Kecepatan 22 Knot

Berdasarkan gambar IV.17 dapat dilihat perubahan yang terjadi pada respon gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T dan 0.75 T.

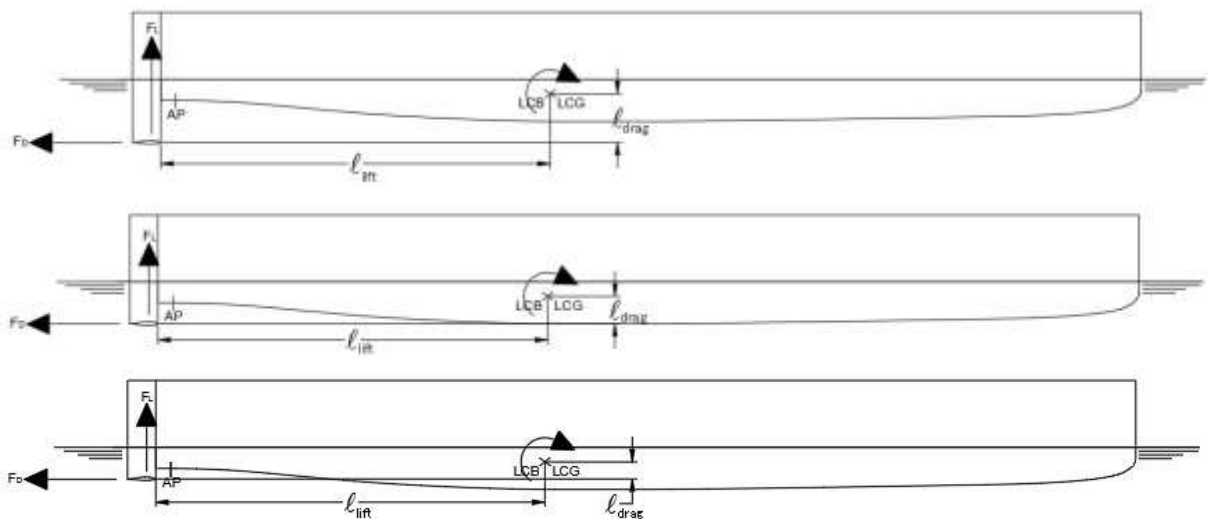
Terlihat pada gambar tersebut berdasarkan Ansys Aqwa, resonansi sekunder terjadi pada frekuensi 0.412 rad/s karena pada frekuensi ini terjadi puncak gelombang, akan tetapi puncak gelombang dari frekuensi ini lebih kecil dibandingkan dengan puncak gelombang yang sebenarnya, dimana puncak gelombang yang sebenarnya dan menjadi resonansi primer adalah pada frekuensi 1.899 rad/s. Dengan kata lain 1.899 rad/s merupakan frekuensi natural.

Sedangkan berdasarkan pengujian eksperimen daerah kritis yang disebabkan resonansi terjadi pada frekuensi 1.844 rad/s. Kurva selanjutnya menurun tajam pada frekuensi - frekuensi diatas frekuensi naturalnya yang disebut sebagai daerah sub-kritis. Pada frekuensi 1.844 rad/s terjadi penurunan respon gerakan *pitch* pada kapal *Crew Boat Orela* yang

menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T sebesar $5.799^\circ/\text{m}$, nilai tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan respon gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T yaitu $5.839^\circ/\text{m}$ dan 1.5T yaitu $6.682^\circ/\text{m}$.

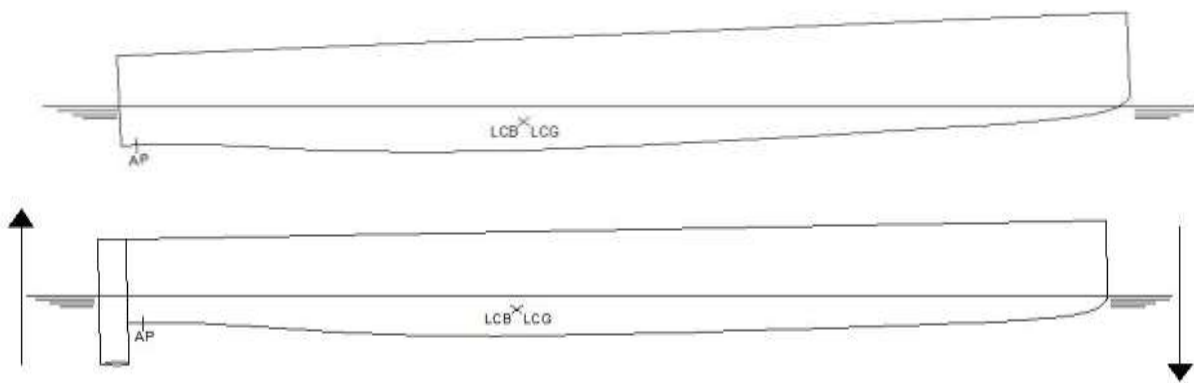
Hal ini mungkin disebabkan perubahan titik LCG dan LCB yang disebabkan oleh penambahan *foil* pada variasi kedalaman tersebut (1.5T, 1.0T dan 0.75T). Dimana pada posisi *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, berat dari *foil* mengubah titik LCG sehingga menyebabkan *pitching* yang lebih besar dibandingkan dengan 0.75T. Dan juga gaya *lift* yang terjadi ketika kapal melaju dengan kecepatan 22 knot menyebabkan gerakan *pitching* lebih besar dibandingkan kapal dengan kecepatan 0 knot.

Posisi LCG pada kapal berpengaruh terhadap fenomena yang akan terjadi karena LCG merupakan pusat rotasi terhadap trim yang dialami kapal. Pada gambar dibawah ini ditampilkan posisi LCG pada kapal tanpa *foil* belakang dan pada kapal dengan variasi posisi *foil* belakang diarah vertikal.



Gambar VI.20 Perubahan titik LCG Kapal

Pada peletakan posisi *foil* yang semakin dalam tidak mengakibatkan perubahan yang cukup besar pada momen gaya *lift*, akan tetapi pada gaya *drag* yang timbul akibat peletakan posisi *foil* tersebut menyebabkan perubahan momen gaya *drag* yang cukup besar. Hal tersebut dikarenakan terjadi perubahan lengan gaya *drag*, dimana semakin dalam peletakan *foil* maka lengan momen gaya *drag*nya akan semakin besar. Lengan tersebut masing – masing diukur dari titik berat kapal.

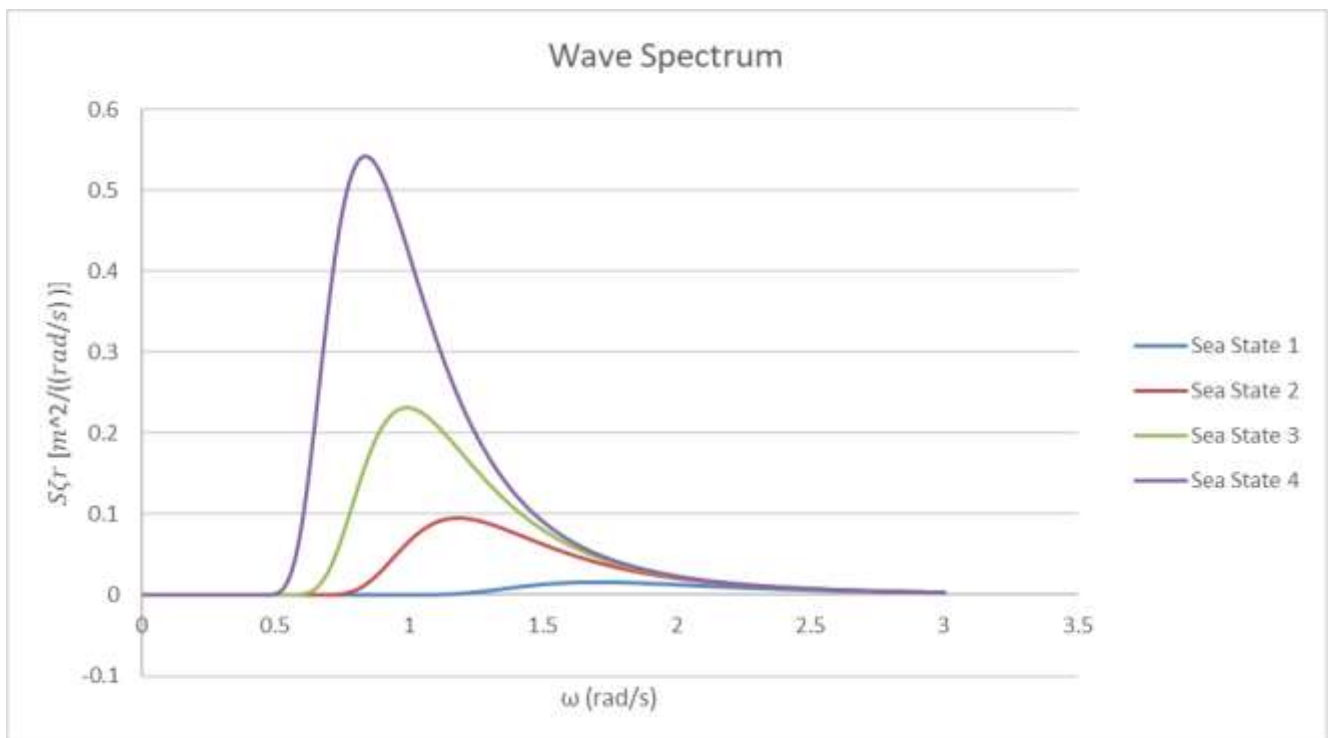


Gambar VI.21 *Trim correction* dengan foil belakang

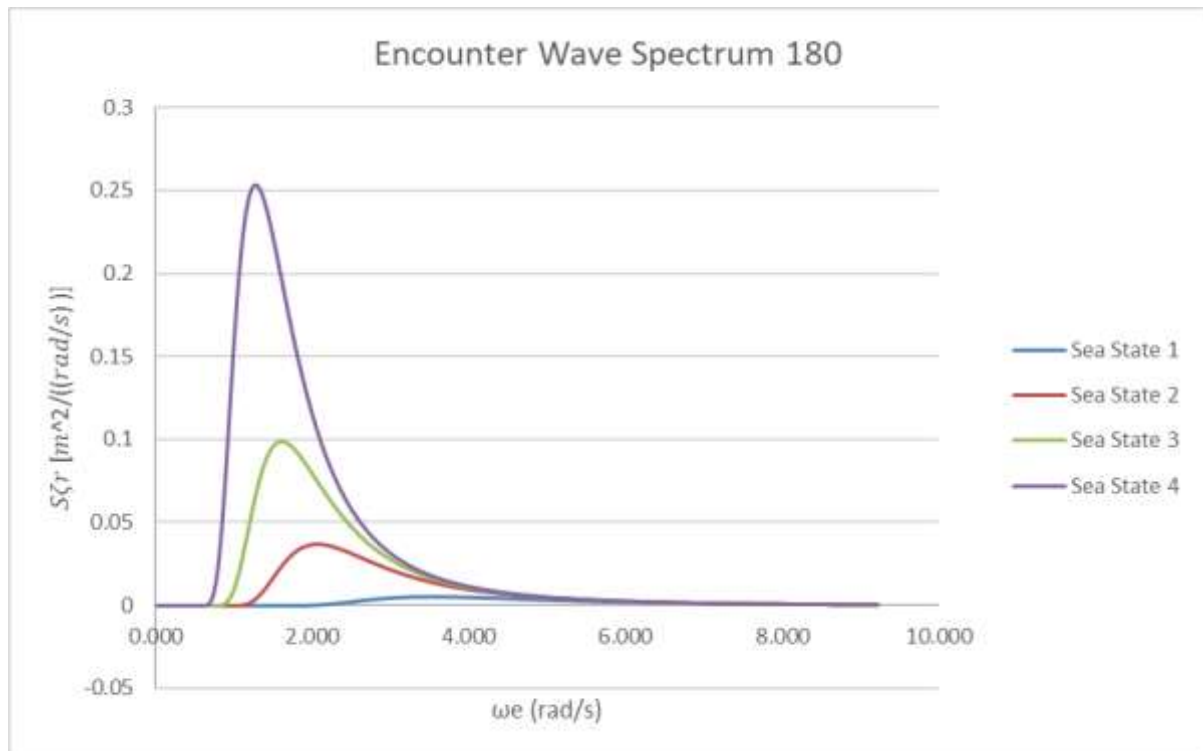
VI.6. Respons Kapal *Crew Boat* di gelombang acak.

VI.6.1. Spektrum Gelombang

Untuk mendapatkan gerakan kapal karena pengaruh gelombang, maka dilakukan perhitungan spektrum gelombang. Pada Tugas Akhir ini, formulasi spektra yang digunakan merupakan spektra ITTC (*International Towing Tank Conference*). Dimana spektra gelombang ini adalah modifikasi dari spektra gelombang Pierson Moskowitz dengan penambahan gelombang signifikan dan frekuensi *zero crossing*. Spektrum gelombang kemudian ditransformasikan menjadi spectrum gelombang *encounter* (papasan).



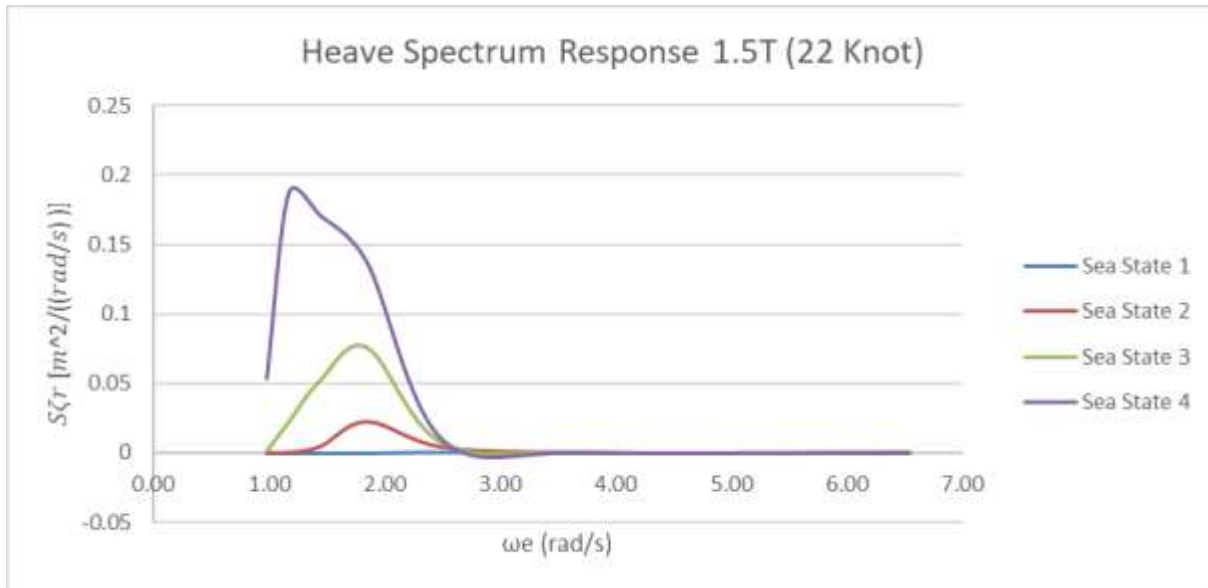
Gambar VI.22 *Wave Spectrum* Kapal *Crew Boat* Orela



Gambar VI.23 *Encounter Wave Spectrum* Kapal Crew Boat Orela

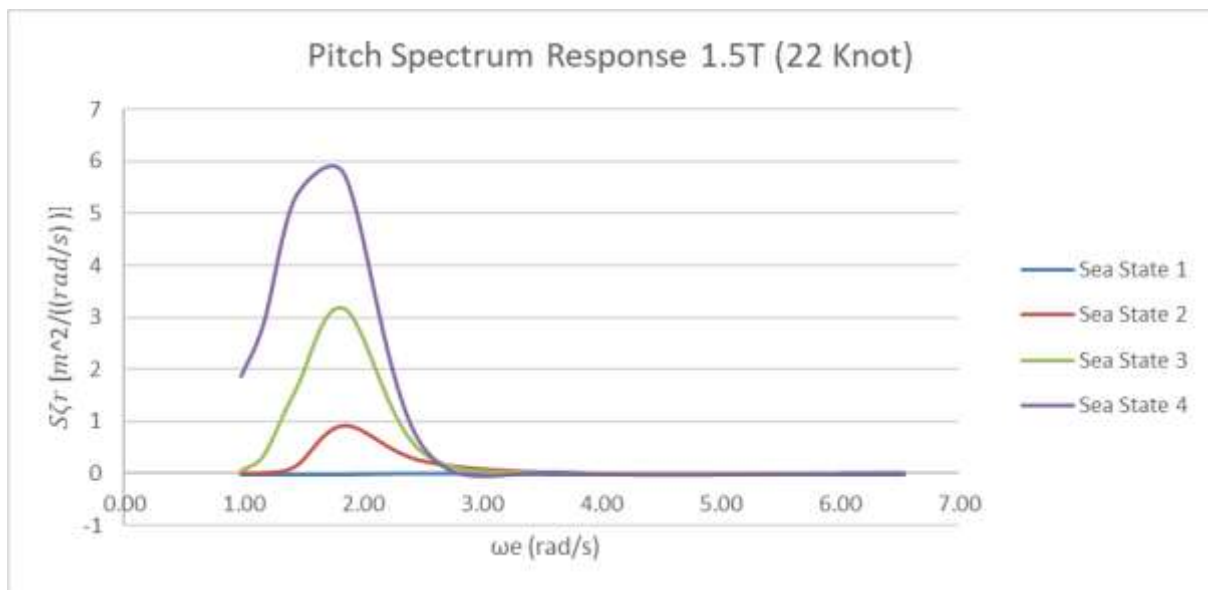
Dari Gambar VI.22 dan VI.23 dapat dilihat bahwa spektrum gelombang dengan tinggi gelombang signifikan yang berbeda akan menghasilkan spektrum yang berbeda juga. Semakin tinggi gelombang signifikan, maka semakin besar juga spektrum yang dihasilkan. Yang menarik untuk di amati adalah perubahan bentuk kurva. Pada tinggi signifikan (H_s) kecil, kurva spektra mempunyai bentuk yang lebar, sedangkan pada tinggi signifikan (H_s) besar kurvanya lebih sempit. Hal ini berarti bahwa pada harga gelombang signifikan (H_s) kecil energi gelombang dikontribusi oleh gelombang – gelombang dalam rentang frekuensi yang lebih besar bila dibandingkan dengan gelombang signifikan (H_s) besar (Djarmiko, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, 2012).

VI.6.2. Spektra Respons *Heave* dan *Pitch* Kapal *Crew Boat Orela* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T, 1T, 0.75T dan Tanpa *foil*



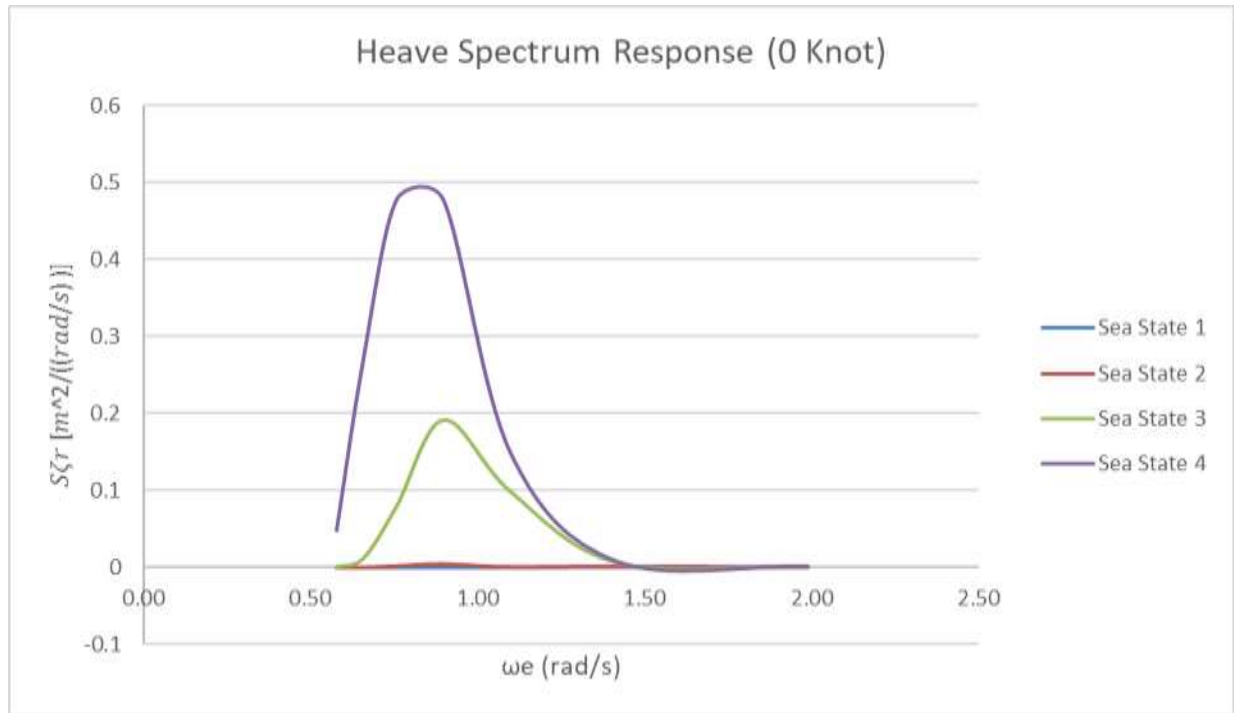
Gambar VI.24 Spektra Respon *Heave* Kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 22 knot

Gambar VI.24 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Heave* Kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar 0.1869 $m^2/rad/s$.



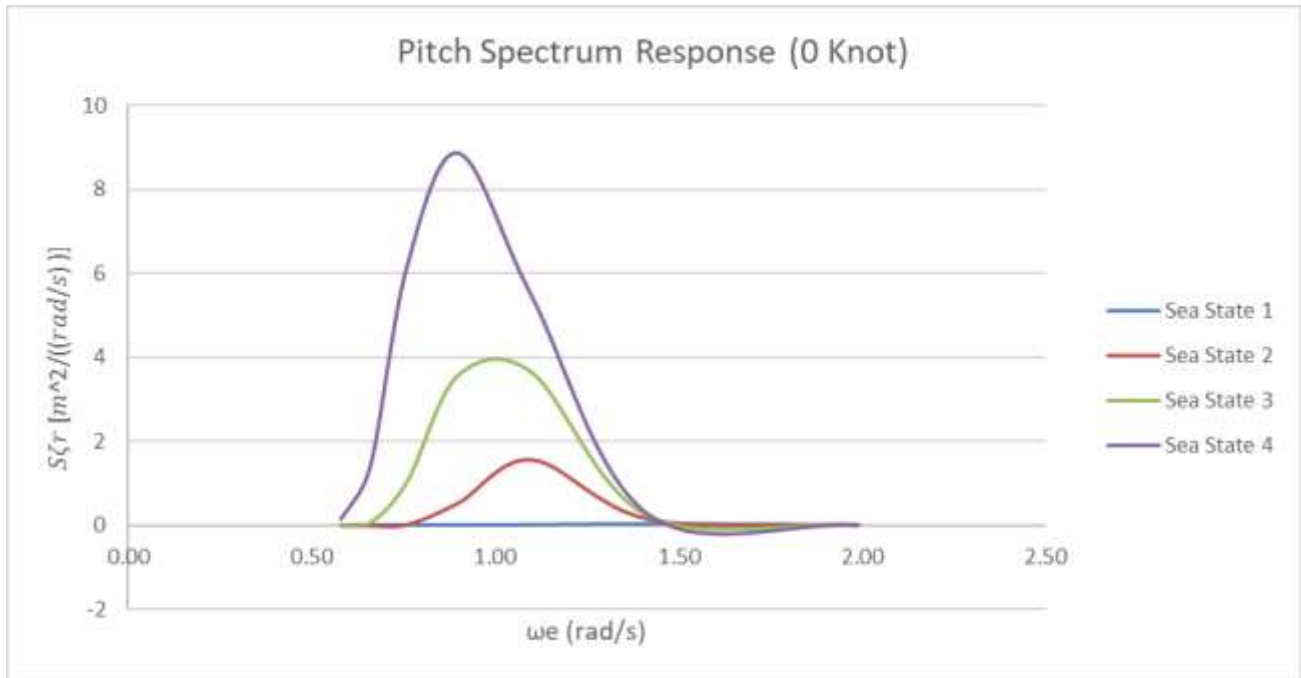
Gambar VI.25 Spektra Respon *Pitch* Kapal *Crew Boat Orela* menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 22 knot

Gambar VI.25 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Pitch* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $5.744 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



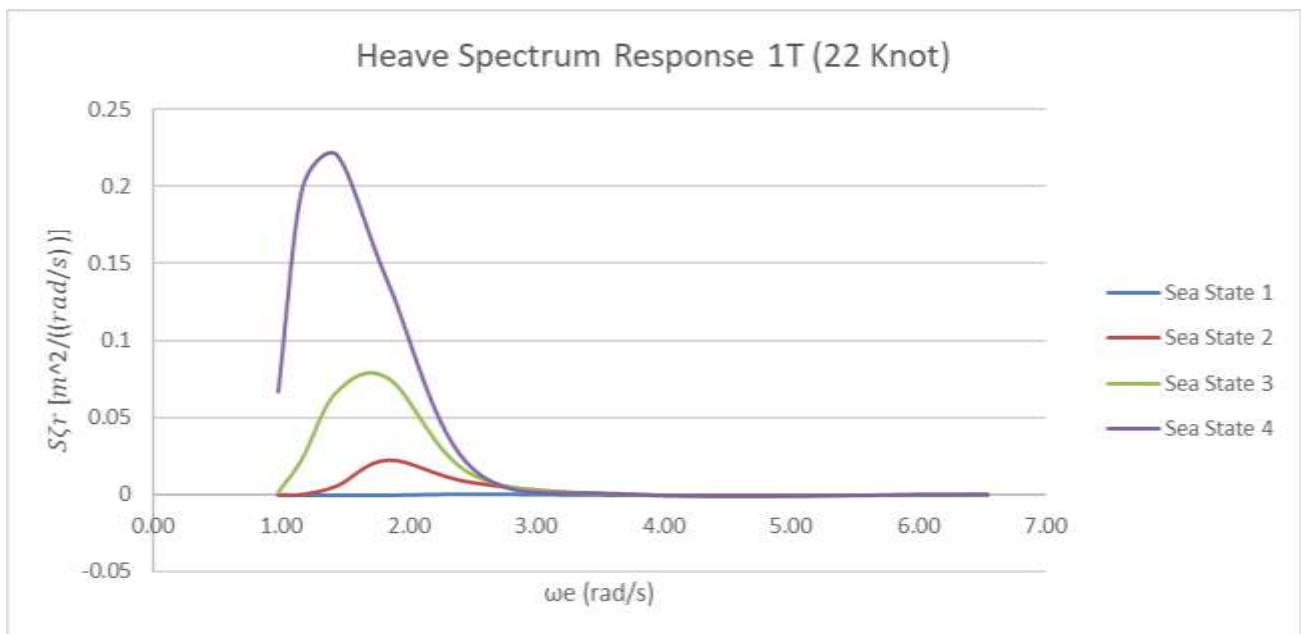
Gambar VI.26 Spektra Respon *heave* Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.26 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *heave* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar $0.477 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



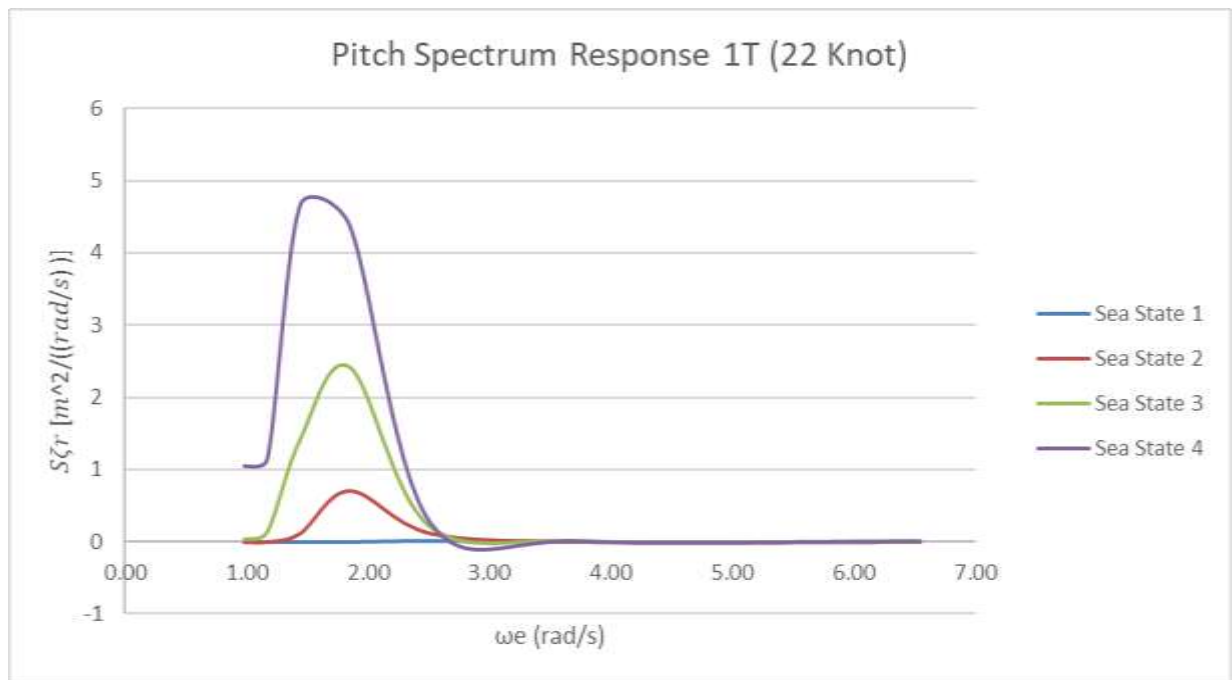
Gambar VI.27 Spektra Respon *Pitch* Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T pada pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.27 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Pitch* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $8.878 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



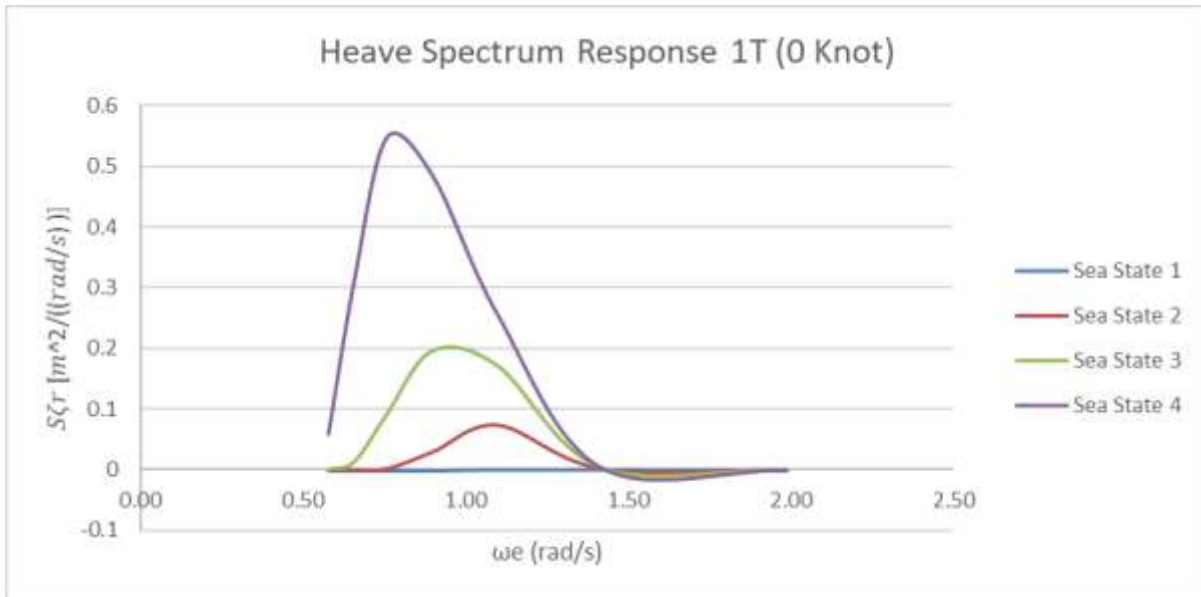
Gambar VI.28 Spektra Respon *Heave* Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 22 knot

Gambar VI.28 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Heave* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar $0.2203 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



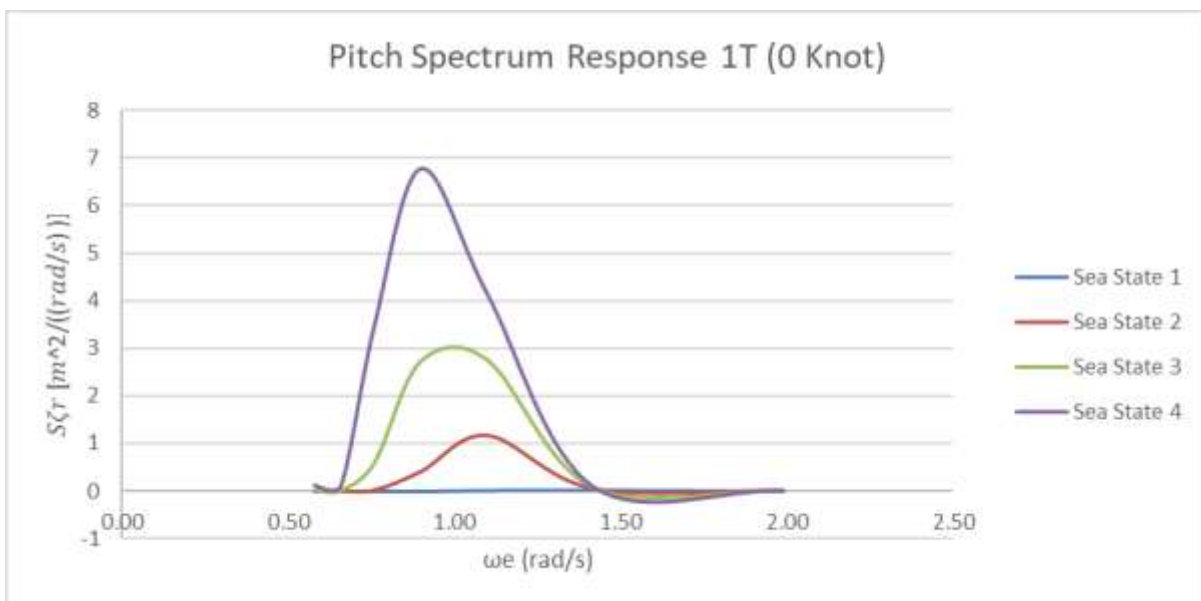
Gambar VI.29 Spektra Respon *Pitch* Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 22 knot.

Gambar VI.29 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Pitch* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $4.664 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



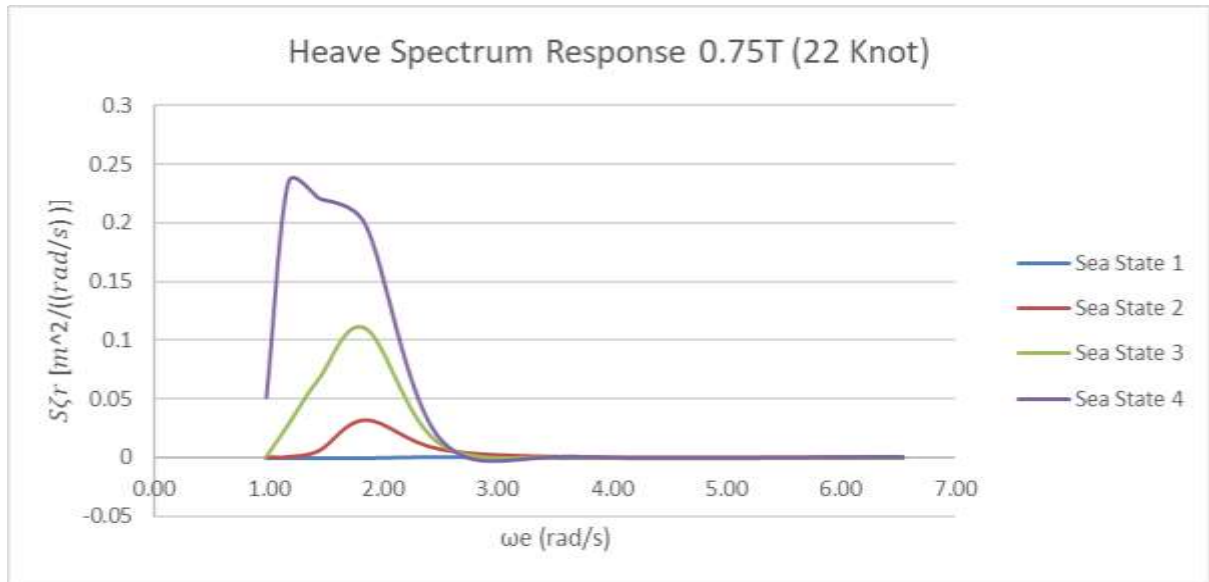
Gambar VI.30 Spektra Respon *heave* Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.30 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *heave* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar $0.548 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



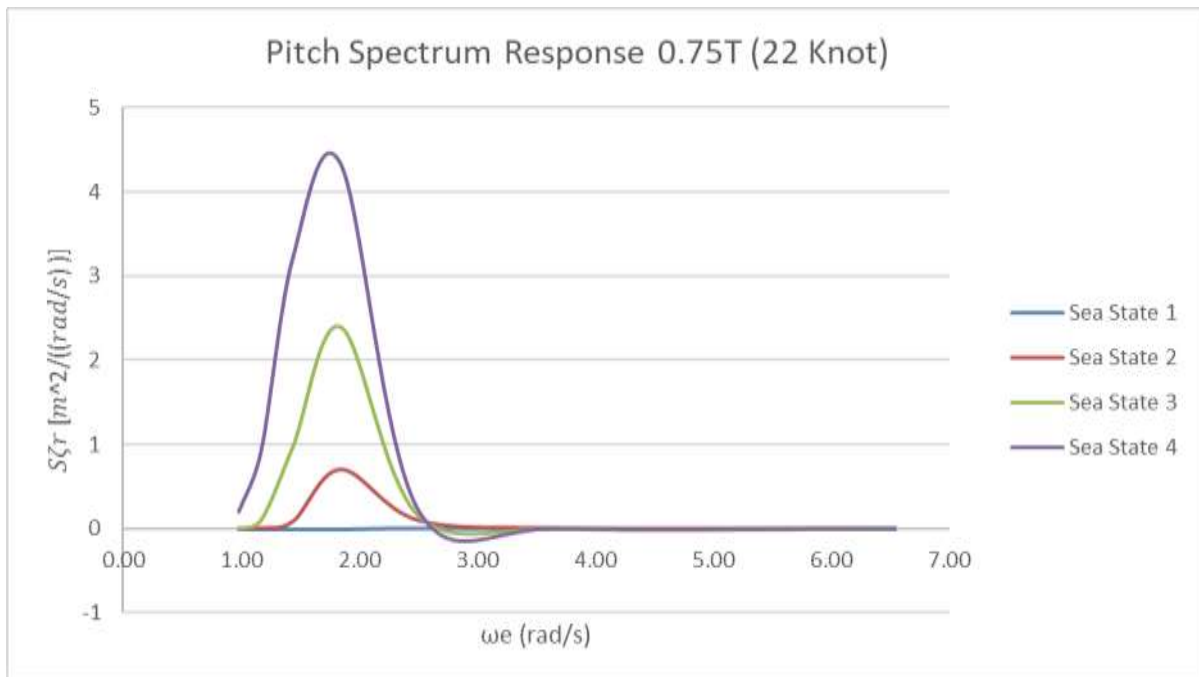
Gambar VI.31 Spektra Respon *pitch* Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.31 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *pitch* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $6.766 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



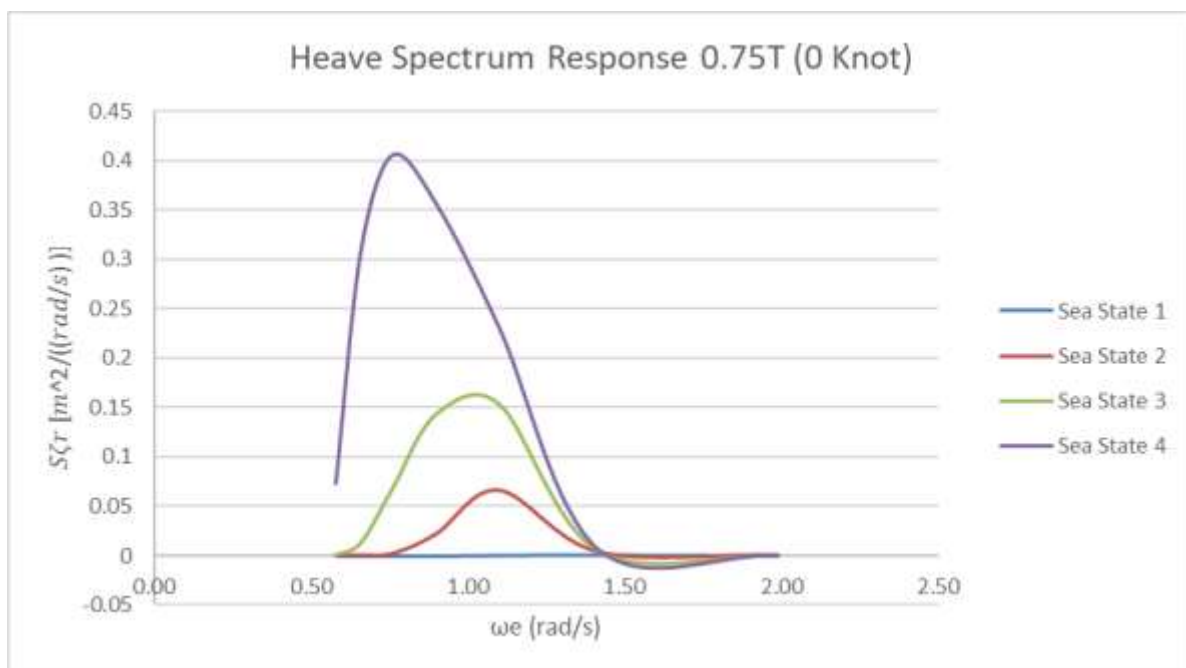
Gambar VI.32 Spektra Respon *Heave* Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T pada kecepatan 22 knot

Gambar VI.32 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Heave* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar $0.2345 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



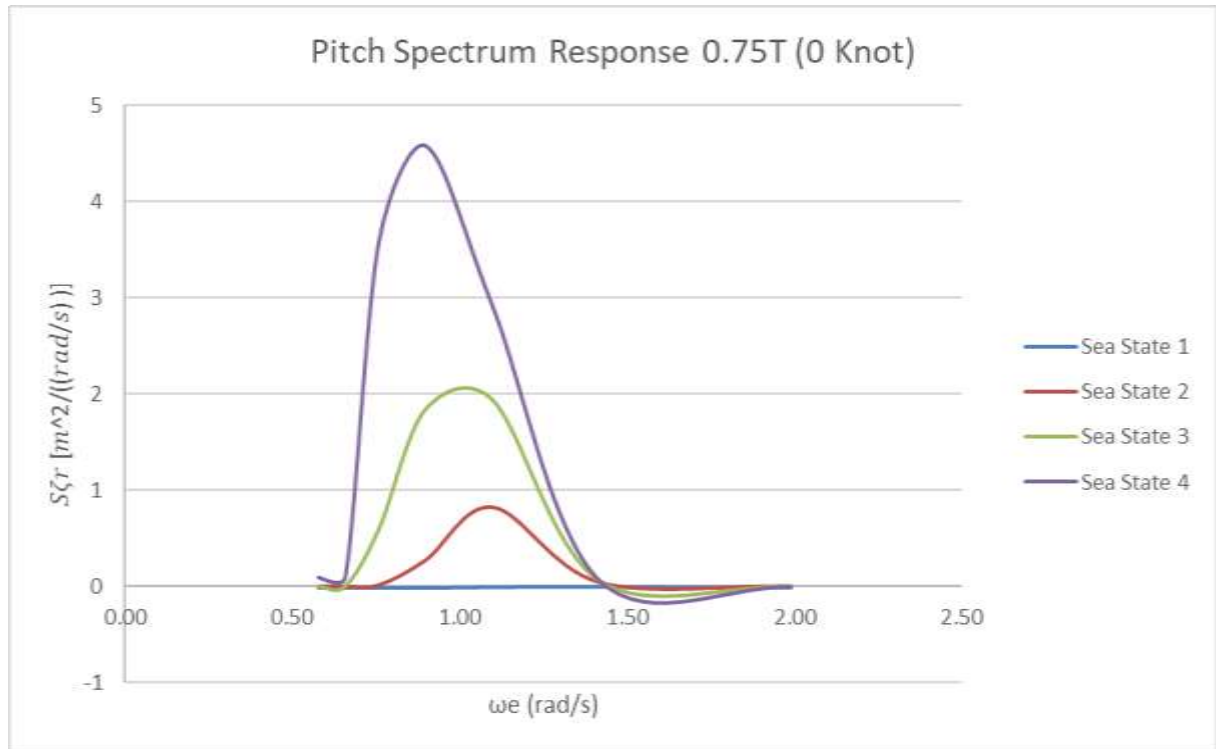
Gambar VI.33 Spektra Respon *Pitch* Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T pada $F_n = 0.5718$

Gambar VI.33 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *pitch* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $4.3269 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



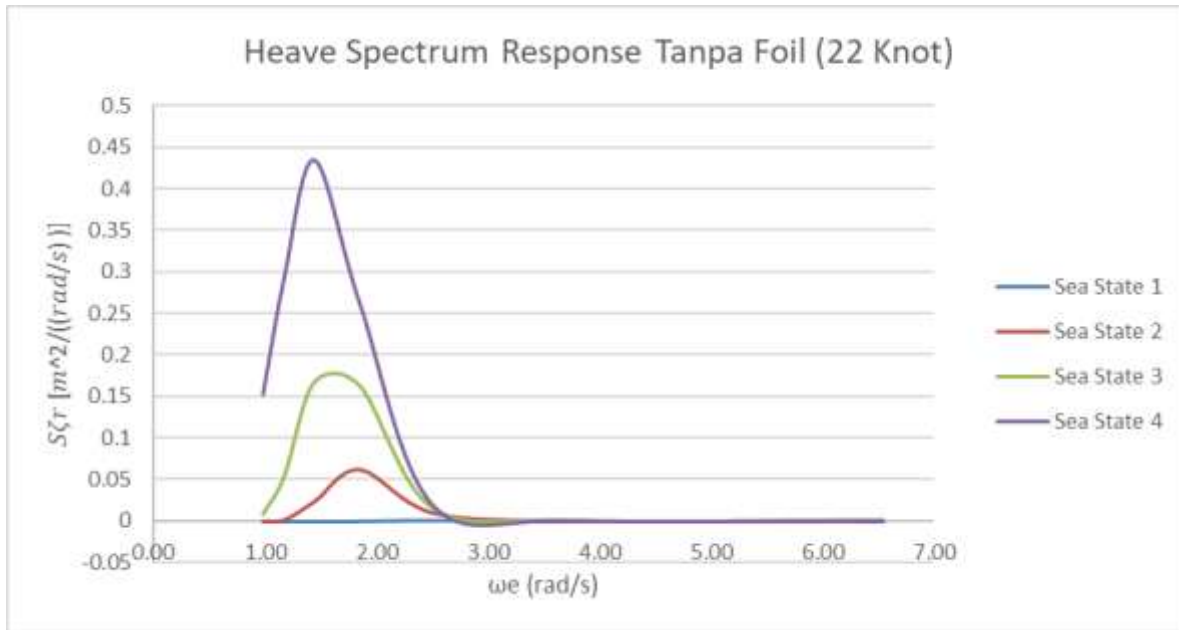
Gambar VI.34 Spektra Respon Heave Kapal Crew Boat Orela menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.34 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Heave* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar 0.406 m²/rad/s.



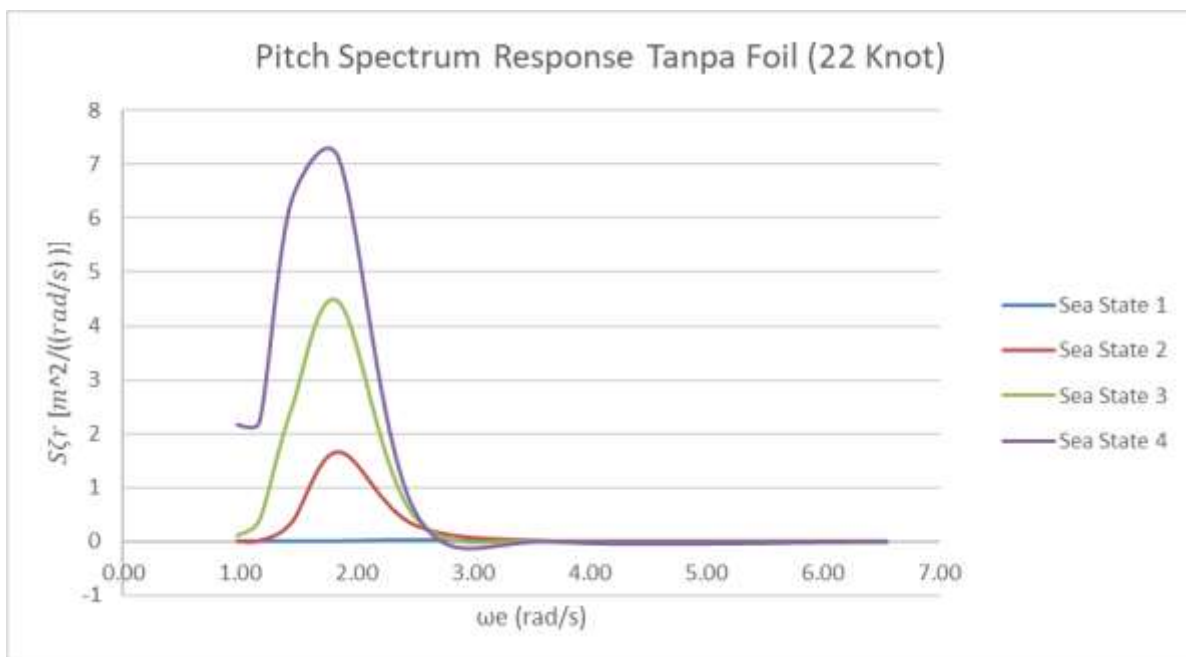
Gambar VI.35 Spektra Respon *pitch* Kapal *Crew Boat* Orela menggunakan foil belakang dengan kedalaman 0.75T pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.35 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *pitch* Kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar 4.577 m²/rad/s.



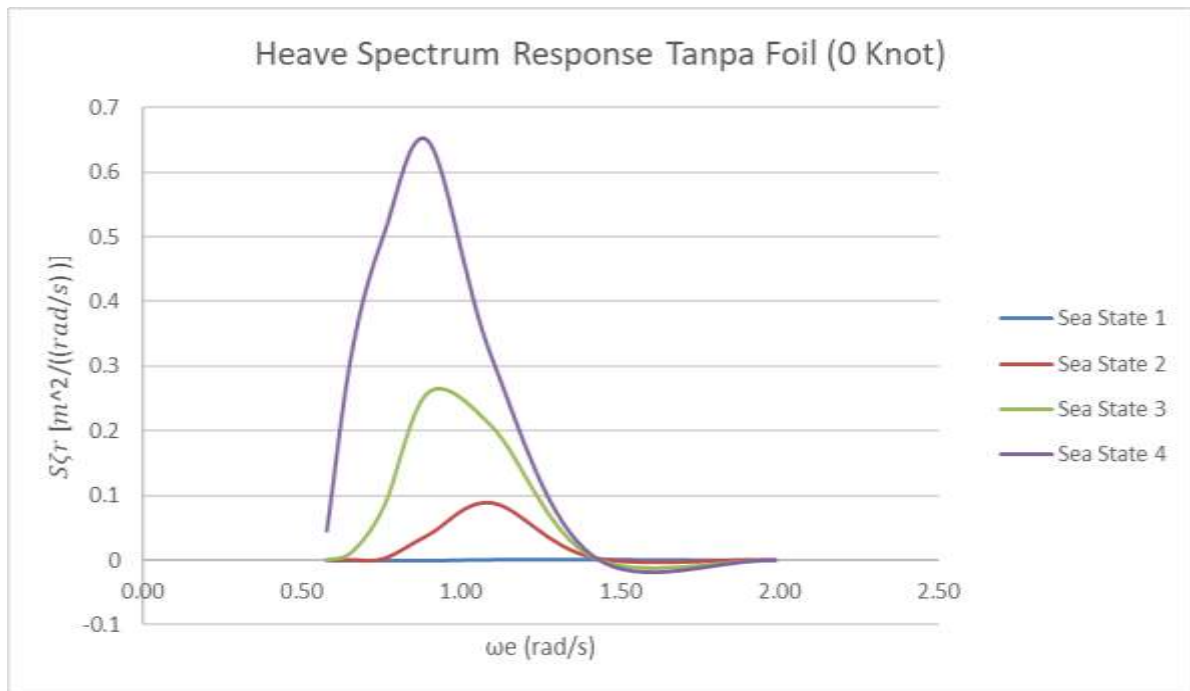
Gambar VI.36 Spektra Respon *heave* Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan *foil* belakang pada kecepatan 22 knot

Gambar VI.36 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *Heave* Kapal *Crew Boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar $0.4337 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



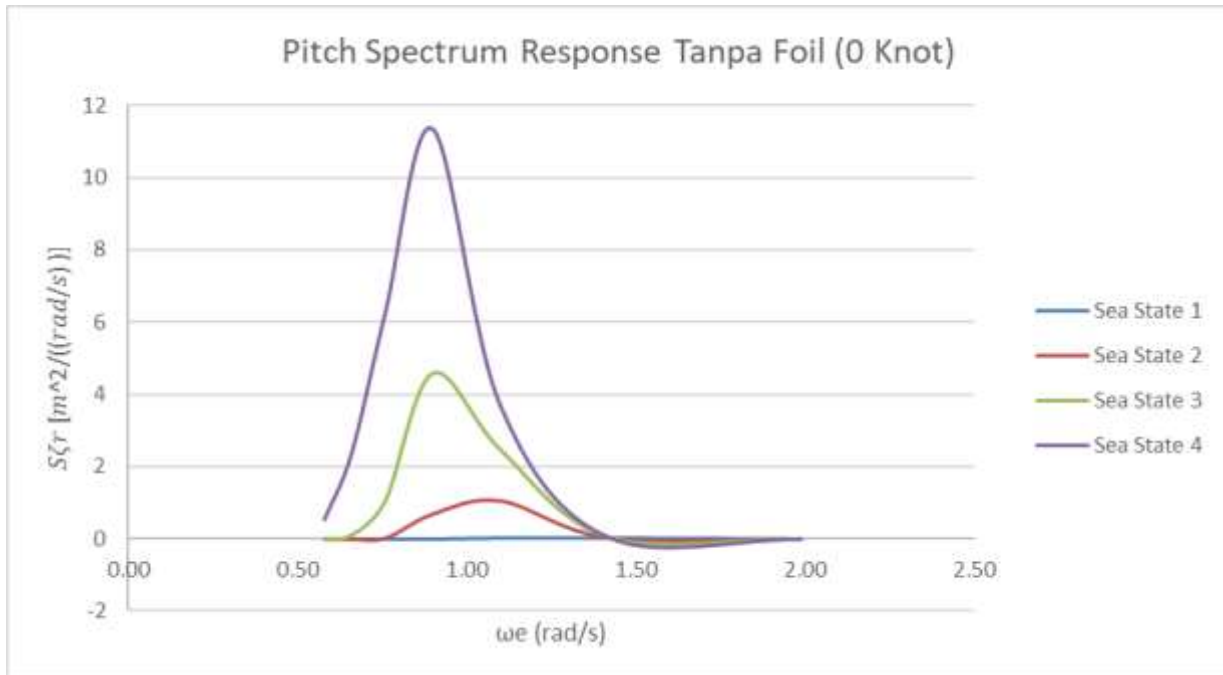
Gambar VI.37 Spektra Respon *Pitch* Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan *foil* belakang pada kecepatan 22 knot

Gambar VI.37 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *pitch* Kapal *Crew Boat* Orela tanpa menggunakan *foil*. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $7.1319 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.



Gambar VI.38 Spektra Respon *heave* Kapal *Crew Boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.38 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *heave* Kapal *Crew Boat* Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *heave* paling tinggi sebesar $0.646 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.

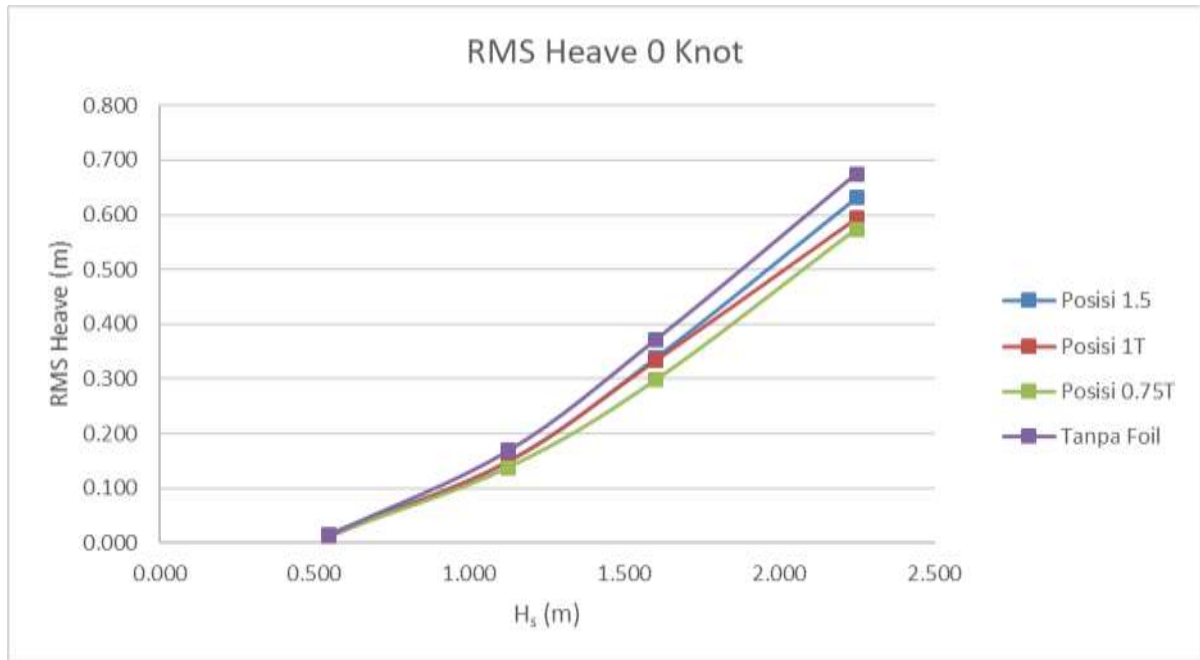


Gambar VI.39 Spektra Respon *pitch* Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan *foil* belakang pada kecepatan 0 knot

Gambar VI.37 menunjukkan hasil dari spektra respons gerakan *pitch* Kapal Crew Boat Orela tanpa menggunakan *foil* belakang. Dimana gambar tersebut merupakan respon dari gerakan kapal akibat gelombang pada setiap *sea state* mulai dari *sea state* 1 sampai dengan *sea state* 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada kondisi *sea state* 4 kapal mengalami gerakan *pitch* paling tinggi sebesar $11.358 \text{ m}^2/\text{rad/s}$.

VI.6.3. Perbandingan Kenaikan *Heave* dan *Pitch* signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan (H_s) untuk Kapal Crew Boat Orela yang menggunakan foil dengan kedalaman 1.5T, 1T, 0.75T dan tanpa *foil*

Setelah perhitungan spektra respon diselesaikan pada tiap kedalaman *foil* belakang, lalu perhitungan dilanjutkan dengan perbandingan kualitas gerakan dari kapal Crew Boat Orela yang menggunakan *foil* belakang saat berada pada gelombang acak, hal tersebut dilakukan untuk melihat perubahan intensitas gerakan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang (H_s) yang paling sering terjadi.

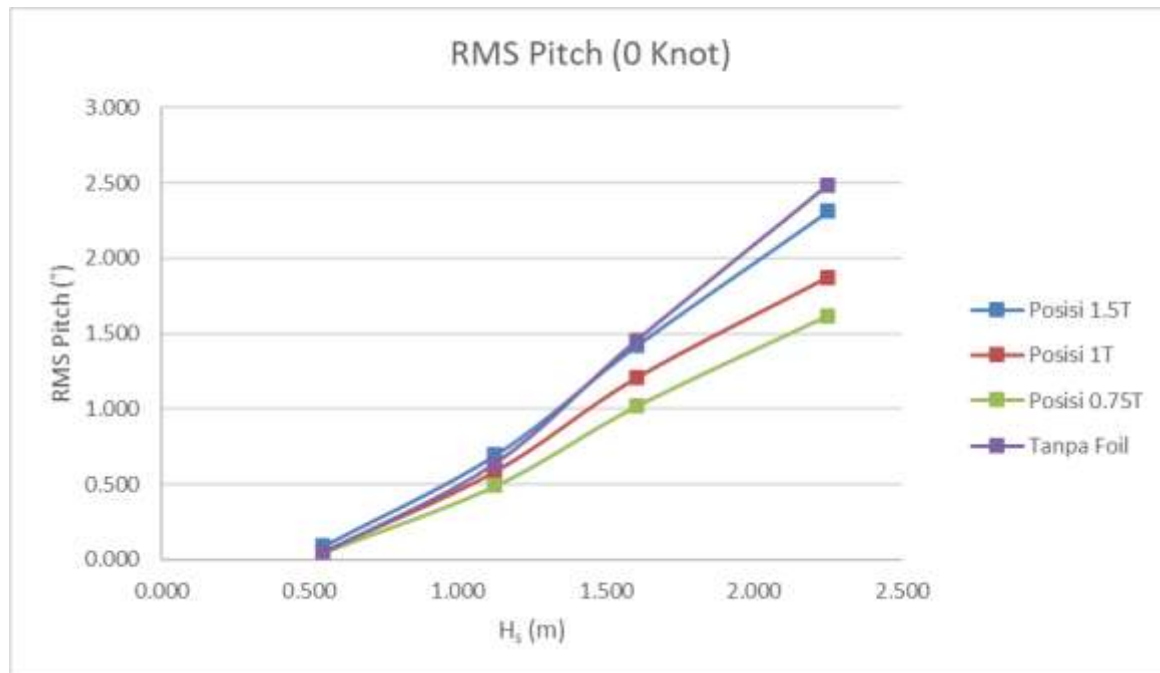


Gambar VI.40 RMS Heave sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan pada kecepatan 0 knot

Pada tinggi gelombang signifikan antara 0.488 m sampai dengan 2.012 m, kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T mempunyai RMS *Heave* yang lebih kecil dibandingkan dengan RMS *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T dan 0.75T.

Dari Gambar VI. 38 tersebut terlihat perbedaan yang diakibatkan *foil* belakang dengan kedalaman *foil* 1.5T memberikan penurunan sebesar 12.02% pada gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela*. Sedangkan pada *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T memberikan penurunan sebesar 14.99% pada gerakan *heave* kapal *crew boat Orela*.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *foil* belakang terhadap gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela* tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan, akan tetapi gerakan *heave* kapal *crew boat* dengan menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T Orela lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman *foil* belakang 1T dan 0.75T.

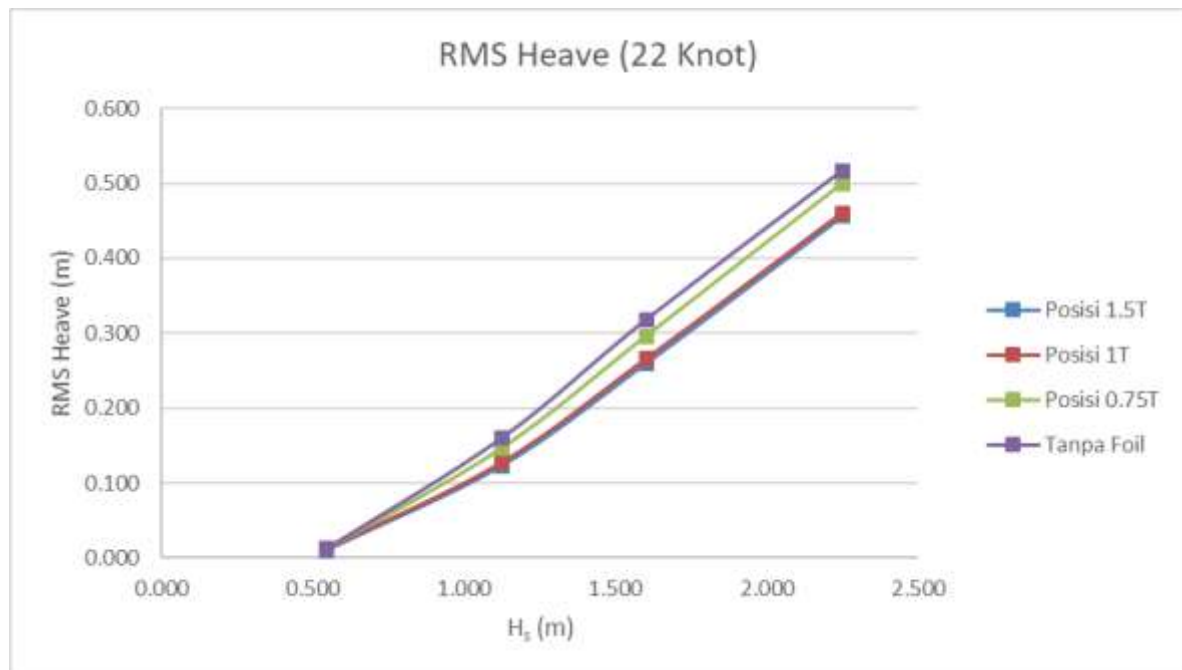


Gambar VI.41 RMS Pitch sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan pada kecepatan 0 knot

Pada tinggi gelombang signifikan antara 0.488 m sampai dengan 2.012 m, kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T mempunyai RMS *Pitch* yang lebih kecil dibandingkan dengan RMS *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T dan 1.5T.

Dari gambar tersebut terlihat perbedaan yang diakibatkan *foil* belakang dengan kedalaman *foil* 0.75T memberikan penurunan sebesar 34.89 % pada gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela*. Sedangkan pada *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T memberikan penurunan sebesar 6.94% pada gerakan *pitch* kapal *crew boat Orela*.

Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *pitch* dengan kecepatan 0 knot pada kapal *crew boat Orela* yang menggunakan *foil* dengan kedalaman 0.75T lebih kecil dibandingkan pada kapal yang menggunakan *foil* dengan kedalaman 1T dan 1.5T pada kapal *Crew Boat Orela*.

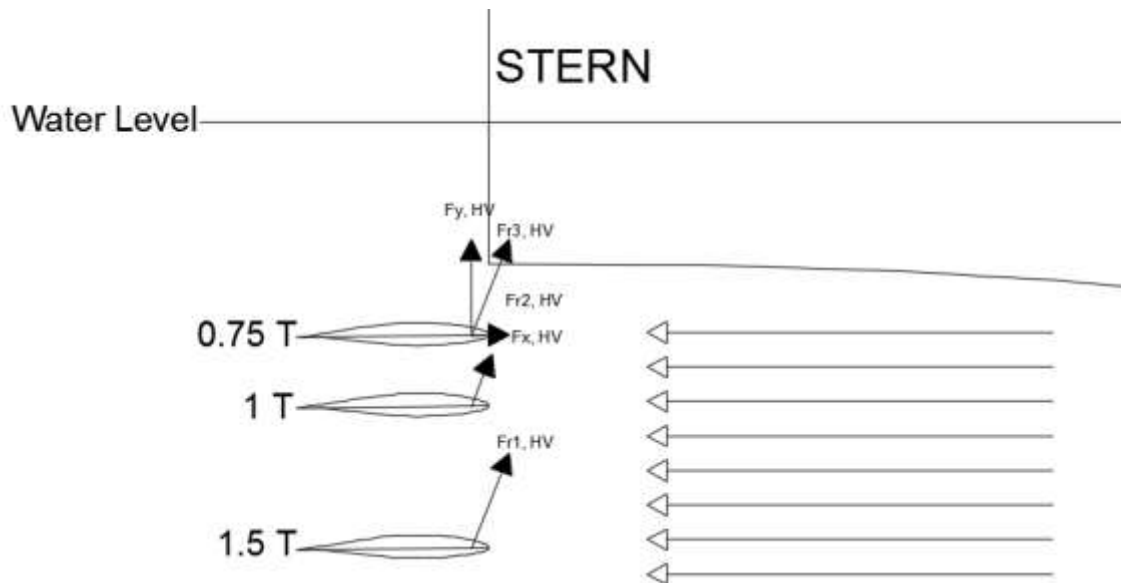


Gambar VI.42 RMS *Heave* sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan pada kecepatan 22 knot

Pada tinggi gelombang signifikan antara 0.488 m sampai dengan 2.012 m, kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T mempunyai RMS *Heave* yang lebih kecil dibandingkan dengan RMS *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T dan 0.75T.

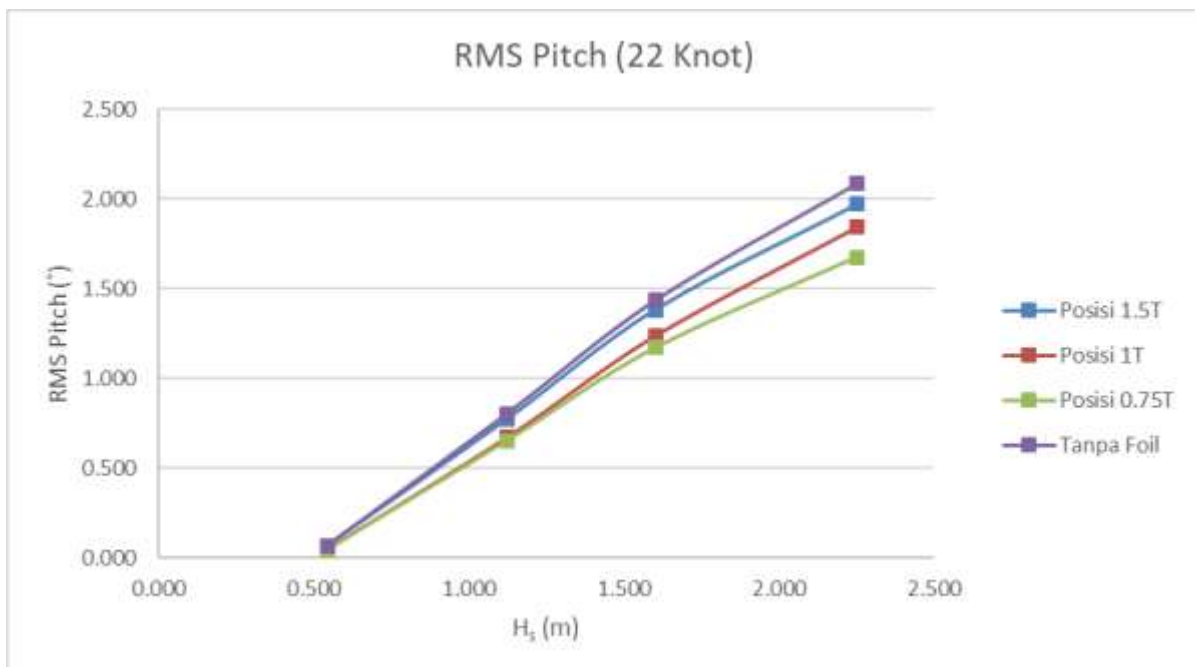
Dari Gambar tersebut terlihat perbedaan yang diakibatkan *foil* belakang dengan kedalaman *foil* 1.5T memberikan penurunan sebesar 11.82% pada gerakan *heave* kapal *Crew Boat Orela*. Sedangkan pada *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T memberikan penurunan sebesar 3.37% pada gerakan *heave* kapal *crew boat Orela*.

Hal ini berbeda dengan respon gerakan *heave* pada kondisi diam (0 knot), dimana respon gerakan *heave* lebih kecil pada posisi pelatakan *foil* yang semakin dangkal. Hal ini mungkin disebabkan karena pengaruh kecepatan kapal *crew boat Orela* dan gaya – gaya yang bekerja pada *foil* belakang seperti yang terlihat pada Gambar VI.41, hal tersebut dimungkinkan terjadi *restoring force* yang terjadi pada kecepatan tersebut dimana *restoring force* merupakan salah satu faktor penyebab dari gerakan *heaving*.



Gambar VI.43 Persebaran gaya yang di akibatkan oleh *foil* belakang sesuai dengan peletakannya

Selain itu berdasarkan Gambar VI.40, penggunaan *foil* belakang pada kapal *Crew Boat* Orela tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan terhadap gerakan *heave* kapal *Crew Boat* Orela, akan tetapi penggunaan *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *foil* belakang dengan kedalaman 1T dan 0.75T.



Gambar VI.44 RMS *Pitch* sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan (H_s) pada kecepatan 22 knot.

Pada tinggi gelombang signifikan antara 0.488 m sampai dengan 2.012 m, kapal *Crew Boat* Orela yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 0.75T mempunyai

RMS *Pitch* yang lebih kecil dibandingkan dengan RMS *Heave* kapal *Crew Boat Orela* yang menggunakan *foil* belakang dengan kedalaman 1T dan 1.5T.

Dari Gambar VI.41 tersebut terlihat perbedaan yang diakibatkan *foil* belakang dengan kedalaman *foil* 0.75T memberikan penurunan sebesar 19.73% pada gerakan *pitch* kapal *Crew Boat Orela*. Sedangkan pada *foil* belakang dengan kedalaman 1.5T memberikan penurunan sebesar 5.53% pada gerakan *pitch* kapal *crew boat Orela*.

Hal ini menunjukkan bahwa gerakan *pitch* pada kapal *crew boat Orela* yang menggunakan *foil* dengan kedalaman 0.75T lebih kecil dibandingkan pada kapal yang menggunakan *foil* dengan kedalaman 1T dan 1.5T pada kapal *Crew Boat Orela*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan eksperimen dan penelitian secara numeris maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Gerakan *heave* yang dimiliki kapal *crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang lebih kecil dibandingkan gerakan *heave* tanpa menggunakan *foil* belakang.
2. Gerakan *pitch* kapal *crew boat* Orela dengan menggunakan *foil* belakang lebih kecil dibandingkan tanpa *foil* belakang.
3. Pada kapal tanpa *foil* belakang, di kecepatan 22 knot pada *sea state* 4 (2.249 m), gerakan *heaving* dan *pitching* pada kapal mengalami penurunan sebesar 23.44% dan 16.07% dibandingkan kapal tanpa kecepatan.
4. Pada kecepatan 0 knot, penggunaan *foil* belakang mengurangi gerakan *heaving* dan *pitching*. Pada kedalaman *foil* 1.5T, 1.0T dan 0.75T masing – masing terjadi pengurangan untuk *heaving* sebesar 6.50%, 12.02% dan 14.99% dan untuk *pitching* sebesar 6.94%, 24.57% dan 34.89% dibandingkan kapal tanpa *foil*.
5. Pada kecepatan 22 knot, penggunaan *foil* belakang mengurangi gerakan *heaving* dan *pitching*. Pada kedalaman *foil* 1.5T, 1.0T dan 0.75T masing – masing terjadi pengurangan untuk *heaving* sebesar 11.82%, 11.01% dan 3.37% dan untuk *pitching* sebesar 5.53%, 11.61% dan 19.73% dibandingkan kapal tanpa *foil*.
6. Pada gerakan *heave* di kecepatan 0 knot, semakin dangkal peletakan posisi *foil* akan mengurangi gerakan *heave*. Akan tetapi pada kecepatan 22 knot, dimana gerakan *heave* semakin kecil pada peletakan *foil* terdalam. Hal ini mungkin disebabkan pengaruh kecepatan pada respon gerakan *heave* sehingga menyebabkan gaya *lift* yang menambahkan gaya eksitasi.

VII.2. Saran

Pada penelitian kali ini tentu saja memiliki banyak sekali permasalahan – permasalahan yang belum bisa terselesaikan oleh permasalahan ini. Ada berbagai macam kendala yang menyebabkan hal tersebut tidak dapat dilakukan, antara lain adalah waktu dan fasilitas yang digunakan. Di harapkan hal – hal yang menjadi kendala peneliti tersebut dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Adapun pada bagian ini, dituliskan beberapa saran antara lain;

1. Tugas Akhir ini memodelkan *foil* dengan variasi posisi vertikal, sehingga mungkin pada penelitian selanjutnya bisa menganalisa *foil* dengan variasi posisi secara horizontal (arah memanjang kapal).
2. Pada Tugas Akhir ini tidak dilakukan perhitungan konstruksi *foil* secara menyeluruh, sehingga pada penelitian selanjutnya hal tersebut dapat dilakukan mengingat dimensi *foil* yang cukup besar dan analisa gerak kapal dapat diperoleh secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya. (1978). *Dynamics of Marine Vehicle*.
- Clarke, D. and Kurniawati, H.A. (2000). "Can Ship Manouvering be Chaotic?". In M. Blanke (Ed.), *Proceedings of 5th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Crafts 2000*, (pp. 339-344). Aalborg, Denmark.
- Djutmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- Hidayat, A. (2016). *Kajian Eksperimental dan Numeris Hambatan Kapal Crew Boat Orela Dengan dan Tanpa FOil Belakang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974)*. London: IMO Publishing.
- Oossanen, P. (2014). *An Update on The Development of The Hull Vane*.
- Oossanen, P. (2016). *An energi saving and (passive) seakeeping device for medium-speed and fast displacement vessels*.
- Presetyo, B.D. (2016). *Final Project*. Surabaya.
- Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Siregar, S. (2017). *Kajian Eksperimental dan Numeris Hambatan Kapal Crew Boat Orela Dengan Variasi Posisi Foil Belakang di Arah Vertikal*. Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

HASIL RAO (*RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR*) TOWING TANK TEST

0 Knot

Periode (s)	Periode Kapal (s)	Frekuensi Kapal (rad/s)	Frekuensi Papasan Kapal (rad/s)	Posisi A (1.5T)		Posisi B (1T)		Posisi C (0.75T)		Tanpa Foil	
				Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch
0.5	3.16	1.99	6.54	0.127251	0.550557	0.090278	0.214687	0.066435	0.302947	0.03206	0.234963
0.7	4.43	1.42	3.74	0.236497	1.432384	0.167824	0.775249	0.20679	0.731518	0.209684	0.665922
0.9	5.69	1.10	2.51	0.68287	4.142996	0.897377	3.604063	0.853858	3.022471	0.988117	3.413394
1.1	6.96	0.90	1.84	0.960648	4.142996	0.968364	3.616773	0.83071	2.974793	1.11794	4.686126
1.3	8.22	0.76	1.44	0.991512	3.561896	1.060957	2.663272	0.913194	2.711751	1.017554	3.589366
1.5	9.49	0.66	1.17	1.053241	2.399217	1.135455	0.658766	1.125617	0.664729	1.15409	3.120208
1.7	10.75	0.58	0.98	0.952932	1.672297	1.06713	1.40733	1.184414	1.39143	0.932909	3.245353

22 Knot

Periode (s)	Periode Kapal (s)	Frekuensi Kapal (rad/s)	Frekuensi Papasan Kapal (rad/s)	Posisi A (1.5T)		Posisi B (1T)		Posisi C (0.75T)		Tanpa Foil	
				Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch
0.5	3.16	1.99	6.54	0.104552	0.007271	0.101466	0.02783	0.042785	0.052877	0.055594	0.235758
0.7	4.43	1.42	3.74	0.079861	0.458092	0.080633	0.385641	0.096142	0.275117	0.075116	0.2779
0.9	5.69	1.10	2.51	0.395062	3.024227	0.551698	2.186387	0.510802	1.892271	0.554128	3.069751
1.1	6.96	0.90	1.84	1.033951	6.682636	1.030093	5.839606	1.242284	5.799943	1.343634	7.006258
1.3	8.22	0.76	1.44	0.964506	5.377146	1.094444	5.03501	1.096451	4.185484	1.358333	5.177873
1.5	9.49	0.66	1.17	1.184414	2.544581	1.126543	2.703009	1.222994	2.424839	1.096373	3.028033
1.7	10.75	0.58	0.98	0.856481	2.181157	1.003086	3.974224	0.876235	1.73328	1.033796	3.915448

LAMPIRAN B

HASIL RESPON SPEKTRUM GELOMBANG

Posisi A		Dengan v = 0 Knot							
Sea State 1				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
	1.99	0.012820191	1	0.1272509	0.000208	0.000207595	0.550557	0.003886	0.003886
	1.42	0.010306866	4	0.236496914	0.000576	0.002305885	1.432384	0.021147	0.084587
	1.10	0.000382116	2	0.68287037	0.000178	0.00035637	4.142996	0.006559	0.013118
	0.90	1.57382E-07	4	0.960648148	1.45E-07	5.80955E-07	4.142996	2.7E-06	1.08E-05
	0.76	7.44223E-14	2	0.991512346	7.32E-14	1.46329E-13	3.561896	9.44E-13	1.89E-12
	0.66	7.14152E-24	4	1.053240741	7.92E-24	3.16888E-23	2.399217	4.11E-23	1.64E-22
	0.58	8.57401E-40	1	0.952932099	7.79E-40	7.78588E-40	1.672297	2.4E-39	2.4E-39
						SUM	0.002870431		SUM
					Mr0	0.000234419		Mr0	0.008297

Sea State 2				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
	1.99	0.021353261	1	0.1272509	0.000346	0.000345769	0.550557	0.006472	0.006472
	1.42	0.073746133	4	0.104552469	0.000806	0.00322454	1.432384	0.151307	0.605227
	1.10	0.090259156	2	0.079861111	0.000576	0.001151309	4.142996	1.549245	3.098491
	0.90	0.031117934	4	0.395061728	0.004857	0.019426773	4.142996	0.534121	2.136484
	0.76	0.001936066	2	1.033950617	0.00207	0.004139517	3.561896	0.024563	0.049126
	0.66	1.46643E-05	4	0.964506173	1.36E-05	5.45671E-05	2.399217	8.44E-05	0.000338
	0.58	4.34808E-09	1	1.18441358	6.1E-09	6.09964E-09	1.672297	1.22E-08	1.22E-08
						SUM	0.028342482		SUM
					Mr0	0.002314636		Mr0	0.481518

Sea State 3

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
1.99	0.023120047	1	0.1272509	0.000374	0.000374378	0.550557	0.007008	0.007008
1.42	0.100208181	4	0.236496914	0.005605	0.022418891	1.432384	0.205599	0.822398
1.10	0.211491654	2	0.68287037	0.098621	0.197242168	4.142996	3.63013	7.26026
0.90	0.208080354	4	0.960648148	0.192026	0.768103545	4.142996	3.571577	14.28631
0.76	0.081245078	2	0.991512346	0.079872	0.159743541	3.561896	1.030765	2.061529
0.66	0.010463367	4	1.053240741	0.011607	0.046428723	2.399217	0.06023	0.240919
0.58	0.000264669	1	0.952932099	0.00024	0.000240341	1.672297	0.00074	0.00074
				SUM	1.194551587		SUM	24.67916
				Mr0	0.097555046		Mr0	2.015465

Sea State 4

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
1.99	0.024017859	1	0.1272509	0.000389	0.000388916	0.550557	0.00728	0.00728
1.42	0.116070217	4	0.236496914	0.006492	0.025967596	1.432384	0.238144	0.952576
1.10	0.318066202	2	0.68287037	0.148318	0.296636137	4.142996	5.459419	10.91884
0.90	0.517261974	4	0.960648148	0.477353	1.909410224	4.142996	8.878498	35.51399
0.76	0.487019485	2	0.991512346	0.478787	0.957574528	3.561896	6.178865	12.35773
0.66	0.243861266	4	1.053240741	0.270519	1.082076872	2.399217	1.403724	5.614897
0.58	0.051950137	1	0.952932099	0.047175	0.047174858	1.672297	0.145283	0.145283
				SUM	4.319229131		SUM	65.5106
				Mr0	0.352737046		Mr0	5.350032

Posisi A Dengan v = 22 Knot

Sea State 1

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
6.54	0.001535668	1	0.104552469	1.68E-05	1.67867E-05	0.007271	8.12E-08	8.12E-08
3.74	0.004667194	4	0.079861111	2.98E-05	0.000119066	0.458092	0.000979	0.003918
2.51	0.002197901	2	0.395061728	0.000343	0.000686069	3.024227	0.020102	0.040204
1.84	5.96383E-05	4	1.033950617	6.38E-05	0.000255026	6.682636	0.002663	0.010653
1.44	3.60287E-08	2	0.964506173	3.35E-08	6.7033E-08	5.377146	1.04E-06	2.08E-06
1.17	1.66888E-13	4	1.18441358	2.34E-13	9.36468E-13	2.544581	1.08E-12	4.32E-12
0.98	8.59513E-23	1	0.856481481	6.31E-23	6.30505E-23	2.181157	4.09E-22	4.09E-22
				SUM	0.001077015			SUM 0.054777
				Mr0	8.79562E-05			Mr0 0.004473

Sea State 2

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
6.54	0.001924547	1	0.104552469	2.1E-05	2.10376E-05	0.007271	1.02E-07	1.02E-07
3.74	0.011897108	4	0.079861111	7.59E-05	0.000303509	0.458092	0.002497	0.009986
2.51	0.030657561	2	0.395061728	0.004785	0.009569682	3.024227	0.280393	0.560785
1.84	0.033716862	4	1.033950617	0.036045	0.144180568	6.682636	1.505715	6.02286
1.44	0.01243863	2	0.964506173	0.011571	0.023142622	5.377146	0.359647	0.719294
1.17	0.001279504	4	1.18441358	0.001795	0.007179733	2.544581	0.008285	0.033139
0.98	1.50548E-05	1	0.856481481	1.1E-05	1.10436E-05	2.181157	7.16E-05	7.16E-05
				SUM	0.184408196			SUM 7.346136
				Mr0	0.015060003			Mr0 0.599934

Sea State 3

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
6.54	0.001993441	1	0.104552469	2.18E-05	2.17907E-05	0.007271	1.05E-07	1.05E-07
3.74	0.013764598	4	0.079861111	8.78E-05	0.000351151	0.458092	0.002888	0.011554
2.51	0.046224874	2	0.395061728	0.007214	0.014428981	3.024227	0.42277	0.845541
1.84	0.090512401	4	1.033950617	0.096763	0.387050535	6.682636	4.042069	16.16828
1.44	0.090721707	2	0.964506173	0.084396	0.168791756	5.377146	2.623101	5.246201
1.17	0.044385524	4	1.18441358	0.062266	0.249062358	2.544581	0.287392	1.149566
0.98	0.00731996	1	0.856481481	0.00537	0.005369634	2.181157	0.034824	0.034824
				SUM	0.825076205			SUM 23.45596
				Mr0	0.067381223			Mr0 1.91557

Sea State 4

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
6.54	0.002027327	1	0.104552469	2.22E-05	2.21612E-05	0.007271	1.07E-07	1.07E-07
3.74	0.014760807	4	0.079861111	9.41E-05	0.000376566	0.458092	0.003098	0.01239
2.51	0.056278524	2	0.395061728	0.008784	0.017567203	3.024227	0.514721	1.029441
1.84	0.145290047	4	1.033950617	0.155323	0.621291553	6.682636	6.488309	25.95323
1.44	0.235107706	2	0.964506173	0.218714	0.437428306	5.377146	6.797835	13.59567
1.17	0.242866904	4	1.18441358	0.340702	1.362809285	2.544581	1.572537	6.290149
0.98	0.141954657	1	0.856481481	0.104132	0.104132333	2.181157	0.675342	0.675342
				SUM	2.543627406			SUM 47.55623
				Mr0	0.207729571			Mr0 3.883758

Posisi B Dengan v = 0 Knot

			SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S		RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 1	1.99	0.01282	1	0.090278	0.000104	0.000104	0.214687	0.000591	0.000591
	1.42	0.010307	4	0.167824	0.00029	0.001161	0.775249	0.006195	0.024778
	1.10	0.000382	2	0.897377	0.000308	0.000615	3.604063	0.004963	0.009927
	0.90	1.57E-07	4	0.968364	1.48E-07	5.9E-07	3.616773	2.06E-06	8.23E-06
	0.76	7.44E-14	2	1.060957	8.38E-14	1.68E-13	2.663272	5.28E-13	1.06E-12
	0.66	7.14E-24	4	1.135455	9.21E-24	3.68E-23	0.658766	3.1E-24	1.24E-23
	0.58	8.57E-40	1	1.06713	9.76E-40	9.76E-40	1.40733	1.7E-39	1.7E-39
					SUM	0.001882		SUM	0.035304
					Mr0	0.000154		Mr0	0.002883

			SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S		RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 2	1.99	0.021353	1	0.090278	0.000174	0.000174	0.214687	0.000984	0.000984
	1.42	0.073746	4	0.167824	0.002077	0.008308	0.775249	0.044322	0.177289
	1.10	0.090259	2	0.897377	0.072684	0.145369	3.604063	1.1724	2.344801
	0.90	0.031118	4	0.968364	0.02918	0.116721	3.616773	0.407055	1.628221
	0.76	0.001936	2	1.060957	0.002179	0.004359	2.663272	0.013733	0.027465
	0.66	1.47E-05	4	1.135455	1.89E-05	7.56E-05	0.658766	6.36E-06	2.55E-05
	0.58	4.35E-09	1	1.06713	4.95E-09	4.95E-09	1.40733	8.61E-09	8.61E-09
					SUM	0.275006		SUM	4.178786
					Mr0	0.022459		Mr0	0.341267

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM		
	W	S	SM	RAO		Scr	RAO		Scr	
Sea State 3	1.99	0.02312	1	0.090278	0.000188	0.000188	0.214687	0.001066	0.001066	
	1.42	0.100208	4	0.167824	0.002822	0.011289	0.775249	0.060226	0.240905	
	1.10	0.211492	2	0.897377	0.170311	0.340622	3.604063	2.747122	5.494244	
	0.90	0.20808	4	0.968364	0.195123	0.780492	3.616773	2.72191	10.88764	
	0.76	0.081245	2	1.060957	0.091452	0.182904	2.663272	0.576273	1.152546	
	0.66	0.010463	4	1.135455	0.01349	0.05396	0.658766	0.004541	0.018163	
	0.58	0.000265	1	1.06713	0.000301	0.000301	1.40733	0.000524	0.000524	
						SUM	1.369757		SUM	17.79509
						Mr0	0.111863		Mr0	1.453265

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM		
	W	S	SM	RAO		Scr	RAO		Scr	
Sea State 4	1.99	0.024018	1	0.090278	0.000196	0.000196	0.214687	0.001107	0.001107	
	1.42	0.11607	4	0.167824	0.003269	0.013076	0.775249	0.06976	0.279038	
	1.10	0.318066	2	0.897377	0.256134	0.512268	3.604063	4.131447	8.262895	
	0.90	0.517262	4	0.968364	0.485052	1.940207	3.616773	6.76633	27.06532	
	0.76	0.487019	2	1.060957	0.548203	1.096407	2.663272	3.454439	6.908877	
	0.66	0.243861	4	1.135455	0.3144	1.257601	0.658766	0.105829	0.423316	
	0.58	0.05195	1	1.06713	0.059159	0.059159	1.40733	0.102891	0.102891	
						SUM	4.878913		SUM	43.04344
						Mr0	0.398445		Mr0	3.515215

Posisi B Dengan v = 22 Knot

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
			RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 1	W	S	SM					
	6.54	0.001536	1	0.101466	1.58E-05	1.58E-05	0.02783	1.19E-06
	3.74	0.004667	4	0.080633	3.03E-05	0.000121	0.385641	0.000694
	2.51	0.002198	2	0.551698	0.000669	0.001338	2.186387	0.010507
	1.84	5.96E-05	4	1.030093	6.33E-05	0.000253	5.839606	0.002034
	1.44	3.6E-08	2	1.094444	4.32E-08	8.63E-08	5.03501	9.13E-07
	1.17	1.67E-13	4	1.126543	2.12E-13	8.47E-13	2.703009	1.22E-12
	0.98	8.6E-23	1	1.003086	8.65E-23	8.65E-23	3.974224	1.36E-21
					SUM	0.001728		SUM
					Mr0	0.000141		Mr0
								0.031928
								0.002607

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
			RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 2	W	S	SM					
	6.54	0.001925	1	0.101466	1.98E-05	1.98E-05	0.02783	1.49E-06
	3.74	0.011897	4	0.080633	7.74E-05	0.000309	0.385641	0.001769
	2.51	0.030658	2	0.551698	0.009331	0.018662	2.186387	0.146552
	1.84	0.033717	4	1.030093	0.035777	0.143107	5.839606	1.149778
	1.44	0.012439	2	1.094444	0.014899	0.029798	5.03501	0.315336
	1.17	0.00128	4	1.126543	0.001624	0.006495	2.703009	0.009348
	0.98	1.51E-05	1	1.003086	1.51E-05	1.51E-05	3.974224	0.000238
					SUM	0.198407		SUM
					Mr0	0.016203		Mr0
								5.567599
								0.454687

				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM	
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr		
Sea State 3	6.54	0.001993	1	0.101466	2.05E-05	2.05E-05	0.02783	1.54E-06	1.54E-06	
	3.74	0.013765	4	0.080633	8.95E-05	0.000358	0.385641	0.002047	0.008188	
	2.51	0.046225	2	0.551698	0.014069	0.028139	2.186387	0.220968	0.441936	
	1.84	0.090512	4	1.030093	0.096042	0.384167	5.839606	3.086563	12.34625	
	1.44	0.090722	2	1.094444	0.108667	0.217334	5.03501	2.299915	4.599831	
	1.17	0.044386	4	1.126543	0.05633	0.225319	2.703009	0.324292	1.297168	
	0.98	0.00732	1	1.003086	0.007365	0.007365	3.974224	0.115615	0.115615	
						SUM	0.862703		SUM	18.80899
						Mr0	0.070454		Mr0	1.536068

				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM	
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr		
Sea State 4	6.54	0.002027	1	0.101466	2.09E-05	2.09E-05	0.02783	1.57E-06	1.57E-06	
	3.74	0.014761	4	0.080633	9.6E-05	0.000384	0.385641	0.002195	0.008781	
	2.51	0.056279	2	0.551698	0.01713	0.034259	2.186387	0.269027	0.538055	
	1.84	0.14529	4	1.030093	0.154166	0.616664	5.839606	4.954535	19.81814	
	1.44	0.235108	2	1.094444	0.281614	0.563228	5.03501	5.960292	11.92058	
	1.17	0.242867	4	1.126543	0.308222	1.232889	2.703009	1.774448	7.097793	
	0.98	0.141955	1	1.003086	0.142832	0.142832	3.974224	2.242097	2.242097	
						SUM	2.590277		SUM	41.62545
						Mr0	0.211539		Mr0	3.399412

Posisi C Dengan v = 0 Knot

	W	S	SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
				RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 1	1.99	0.01282	1	0.066435	5.66E-05	5.66E-05	0.302947	0.001177	0.001177
	1.42	0.010307	4	0.20679	0.000441	0.001763	0.731518	0.005515	0.022062
	1.10	0.000382	2	0.853858	0.000279	0.000557	3.022471	0.003491	0.006982
	0.90	1.57E-07	4	0.83071	1.09E-07	4.34E-07	2.974793	1.39E-06	5.57E-06
	0.76	7.44E-14	2	0.913194	6.21E-14	1.24E-13	2.711751	5.47E-13	1.09E-12
	0.66	7.14E-24	4	1.125617	9.05E-24	3.62E-23	0.664729	3.16E-24	1.26E-23
	0.58	8.57E-40	1	1.184414	1.2E-39	1.2E-39	1.39143	1.66E-39	1.66E-39
					SUM	0.002377		SUM	0.030225
					Mr0	0.000194		Mr0	0.002468

	W	S	SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
				RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 2	1.99	0.021353	1	0.066435	9.42E-05	9.42E-05	0.302947	0.00196	0.00196
	1.42	0.073746	4	0.20679	0.003154	0.012614	0.731518	0.039463	0.157852
	1.10	0.090259	2	0.853858	0.065806	0.131611	3.022471	0.824547	1.649094
	0.90	0.031118	4	0.83071	0.021474	0.085895	2.974793	0.275375	1.101499
	0.76	0.001936	2	0.913194	0.001615	0.003229	2.711751	0.014237	0.028474
	0.66	1.47E-05	4	1.125617	1.86E-05	7.43E-05	0.664729	6.48E-06	2.59E-05
	0.58	4.35E-09	1	1.184414	6.1E-09	6.1E-09	1.39143	8.42E-09	8.42E-09
					SUM	0.233518		SUM	2.938905
					Mr0	0.019071		Mr0	0.240011

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
			RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 3	W	S	SM					
	1.99	0.02312	1	0.066435	0.000102	0.000102	0.302947	0.002122
	1.42	0.100208	4	0.20679	0.004285	0.01714	0.731518	0.053623
	1.10	0.211492	2	0.853858	0.154193	0.308386	3.022471	1.932046
	0.90	0.20808	4	0.83071	0.143592	0.574367	2.974793	1.841384
	0.76	0.081245	2	0.913194	0.067752	0.135504	2.711751	0.597443
	0.66	0.010463	4	1.125617	0.013257	0.053029	0.664729	0.004623
	0.58	0.000265	1	1.184414	0.000371	0.000371	1.39143	0.000512
					SUM	1.088901		SUM
					Mr0	0.088927		Mr0
								12.66014
								1.033911

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
			RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 4	W	S	SM					
	1.99	0.024018	1	0.066435	0.000106	0.000106	0.302947	0.002204
	1.42	0.11607	4	0.20679	0.004963	0.019854	0.731518	0.062111
	1.10	0.318066	2	0.853858	0.231894	0.463787	3.022471	2.90564
	0.90	0.517262	4	0.83071	0.356952	1.427806	2.974793	4.577454
	0.76	0.487019	2	0.913194	0.406137	0.812275	2.711751	3.581344
	0.66	0.243861	4	1.125617	0.308976	1.235903	0.664729	0.107754
	0.58	0.05195	1	1.184414	0.072877	0.072877	1.39143	0.100579
					SUM	4.032608		SUM
					Mr0	0.32933		Mr0
								32.06603
								2.618725

Dengan v = 22
Posisi C Knot

	W	S	SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
				RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 1	6.54	0.001536	1	0.042785	2.81E-06	2.81E-06	0.052877	4.29E-06	4.29E-06
	3.74	0.004667	4	0.096142	4.31E-05	0.000173	0.275117	0.000353	0.001413
	2.51	0.002198	2	0.510802	0.000573	0.001147	1.892271	0.00787	0.01574
	1.84	5.96E-05	4	1.242284	9.2E-05	0.000368	5.799943	0.002006	0.008025
	1.44	3.6E-08	2	1.096451	4.33E-08	8.66E-08	4.185484	6.31E-07	1.26E-06
	1.17	1.67E-13	4	1.222994	2.5E-13	9.98E-13	2.424839	9.81E-13	3.93E-12
	0.98	8.6E-23	1	0.876235	6.6E-23	6.6E-23	1.73328	2.58E-22	2.58E-22
					SUM	0.001691		SUM	0.025183
					Mr0	0.000138		Mr0	0.002057

	W	S	SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
				RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 2	6.54	0.001925	1	0.042785	3.52E-06	3.52E-06	0.052877	5.38E-06	5.38E-06
	3.74	0.011897	4	0.096142	0.00011	0.00044	0.275117	0.0009	0.003602
	2.51	0.030658	2	0.510802	0.007999	0.015998	1.892271	0.109775	0.21955
	1.84	0.033717	4	1.242284	0.052034	0.208137	5.799943	1.134213	4.536852
	1.44	0.012439	2	1.096451	0.014954	0.029908	4.185484	0.217903	0.435807
	1.17	0.00128	4	1.222994	0.001914	0.007655	2.424839	0.007523	0.030093
	0.98	1.51E-05	1	0.876235	1.16E-05	1.16E-05	1.73328	4.52E-05	4.52E-05
					SUM	0.262153		SUM	5.225955
					Mr0	0.021409		Mr0	0.426786

				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM	
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr		
Sea State 3	6.54	0.001993	1	0.042785	3.65E-06	3.65E-06	0.052877	5.57E-06	5.57E-06	
	3.74	0.013765	4	0.096142	0.000127	0.000509	0.275117	0.001042	0.004167	
	2.51	0.046225	2	0.510802	0.012061	0.024122	1.892271	0.165517	0.331034	
	1.84	0.090512	4	1.242284	0.139685	0.55874	5.799943	3.044777	12.17911	
	1.44	0.090722	2	1.096451	0.109066	0.218132	4.185484	1.589288	3.178575	
	1.17	0.044386	4	1.222994	0.066388	0.265552	2.424839	0.26098	1.04392	
	0.98	0.00732	1	0.876235	0.00562	0.00562	1.73328	0.021991	0.021991	
						SUM	1.072679		SUM	16.7588
						Mr0	0.087602		Mr0	1.368636

				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM	
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr		
Sea State 4	6.54	0.002027	1	0.042785	3.71E-06	3.71E-06	0.052877	5.67E-06	5.67E-06	
	3.74	0.014761	4	0.096142	0.000136	0.000546	0.275117	0.001117	0.004469	
	2.51	0.056279	2	0.510802	0.014684	0.029368	1.892271	0.201516	0.403032	
	1.84	0.14529	4	1.242284	0.224222	0.896887	5.799943	4.887461	19.54984	
	1.44	0.235108	2	1.096451	0.282647	0.565295	4.185484	4.118681	8.237362	
	1.17	0.242867	4	1.222994	0.363259	1.453038	2.424839	1.42802	5.712079	
	0.98	0.141955	1	0.876235	0.108991	0.108991	1.73328	0.426469	0.426469	
						SUM	3.054128		SUM	34.33326
						Mr0	0.24942		Mr0	2.803883

**Tanpa
Foil**

Dengan v = 0 Knot

	W	S	SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
				RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 1	1.99	0.01282	1	0.03206	1.32E-05	1.32E-05	0.234963	0.000708	0.000708
	1.42	0.010307	4	0.209684	0.000453	0.001813	0.665922	0.004571	0.018282
	1.10	0.000382	2	0.988117	0.000373	0.000746	3.413394	0.004452	0.008904
	0.90	1.57E-07	4	1.11794	1.97E-07	7.87E-07	4.686126	3.46E-06	1.38E-05
	0.76	7.44E-14	2	1.017554	7.71E-14	1.54E-13	3.589366	9.59E-13	1.92E-12
	0.66	7.14E-24	4	1.15409	9.51E-24	3.8E-23	3.120208	6.95E-23	2.78E-22
	0.58	8.57E-40	1	0.932909	7.46E-40	7.46E-40	3.245353	9.03E-39	9.03E-39
					SUM	0.002573		SUM	0.027908
					Mr0	0.00021		Mr0	0.002279

	W	S	SM	Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
				RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 2	1.99	0.021353	1	0.03206	2.19E-05	2.19E-05	0.234963	0.001179	0.001179
	1.42	0.073746	4	0.209684	0.003242	0.01297	0.665922	0.032703	0.130811
	1.10	0.090259	2	0.988117	0.088127	0.176254	3.413394	1.051633	2.103266
	0.90	0.031118	4	1.11794	0.038891	0.155563	4.686126	0.683343	2.733371
	0.76	0.001936	2	1.017554	0.002005	0.004009	3.589366	0.024943	0.049887
	0.66	1.47E-05	4	1.15409	1.95E-05	7.81E-05	3.120208	0.000143	0.000571
	0.58	4.35E-09	1	0.932909	3.78E-09	3.78E-09	3.245353	4.58E-08	4.58E-08
					SUM	0.348896		SUM	5.019086
					Mr0	0.028493		Mr0	0.409892

Sea State 3				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
	1.99	0.02312	1	0.03206	2.38E-05	2.38E-05	0.234963	0.001276	0.001276
1.42	0.100208	4	0.209684	0.004406	0.017624	0.665922	0.044437	0.17775	
1.10	0.211492	2	0.988117	0.206495	0.412991	3.413394	2.464145	4.928289	
0.90	0.20808	4	1.11794	0.260057	1.040227	4.686126	4.569398	18.27759	
0.76	0.081245	2	1.017554	0.084122	0.168245	3.589366	1.046725	2.09345	
0.66	0.010463	4	1.15409	0.013936	0.055746	3.120208	0.101868	0.407473	
0.58	0.000265	1	0.932909	0.00023	0.00023	3.245353	0.002788	0.002788	
					SUM	1.695085		SUM	25.88862
					Mr0	0.138432		Mr0	2.114237

Sea State 4				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
	1.99	0.024018	1	0.03206	2.47E-05	2.47E-05	0.234963	0.001326	0.001326
1.42	0.11607	4	0.209684	0.005103	0.020413	0.665922	0.051472	0.205886	
1.10	0.318066	2	0.988117	0.310552	0.621104	3.413394	3.705873	7.411745	
0.90	0.517262	4	1.11794	0.646469	2.585874	4.686126	11.35896	45.43583	
0.76	0.487019	2	1.017554	0.504268	1.008536	3.589366	6.274539	12.54908	
0.66	0.243861	4	1.15409	0.324804	1.299217	3.120208	2.37416	9.496639	
0.58	0.05195	1	0.932909	0.045213	0.045213	3.245353	0.547155	0.547155	
					SUM	5.580382		SUM	75.64766
					Mr0	0.455731		Mr0	6.177892

Tanpa Foil	Dengan v = 22 Knot
---------------	-----------------------

				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 1	6.54	0.001536	1	0.055594	4.75E-06	4.75E-06	0.235758	8.54E-05	8.54E-05
	3.74	0.004667	4	0.075116	2.63E-05	0.000105	0.2779	0.00036	0.001442
	2.51	0.002198	2	0.554128	0.000675	0.00135	3.069751	0.020712	0.041423
	1.84	5.96E-05	4	1.343634	0.000108	0.000431	7.006258	0.002928	0.01171
	1.44	3.6E-08	2	1.358333	6.65E-08	1.33E-07	5.177873	9.66E-07	1.93E-06
	1.17	1.67E-13	4	1.096373	2.01E-13	8.02E-13	3.028033	1.53E-12	6.12E-12
	0.98	8.6E-23	1	1.033796	9.19E-23	9.19E-23	3.915448	1.32E-21	1.32E-21
					SUM	0.001891		SUM	0.054662
					Mr0	0.000154		Mr0	0.004464

				Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
	W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
Sea State 2	6.54	0.001925	1	0.055594	5.95E-06	5.95E-06	0.235758	0.000107	0.000107
	3.74	0.011897	4	0.075116	6.71E-05	0.000269	0.2779	0.000919	0.003675
	2.51	0.030658	2	0.554128	0.009414	0.018827	3.069751	0.288898	0.577795
	1.84	0.033717	4	1.343634	0.060871	0.243483	7.006258	1.655082	6.620327
	1.44	0.012439	2	1.358333	0.02295	0.0459	5.177873	0.333484	0.666969
	1.17	0.00128	4	1.096373	0.001538	0.006152	3.028033	0.011732	0.046927
	0.98	1.51E-05	1	1.033796	1.61E-05	1.61E-05	3.915448	0.000231	0.000231
					SUM	0.314654		SUM	7.91603
					Mr0	0.025697		Mr0	0.646476

Sea State
3

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
6.54	0.001993	1	0.055594	6.16E-06	6.16E-06	0.235758	0.000111	0.000111
3.74	0.013765	4	0.075116	7.77E-05	0.000311	0.2779	0.001063	0.004252
2.51	0.046225	2	0.554128	0.014194	0.028387	3.069751	0.435594	0.871188
1.84	0.090512	4	1.343634	0.163407	0.653627	7.006258	4.443041	17.77217
1.44	0.090722	2	1.358333	0.167388	0.334776	5.177873	2.432282	4.864565
1.17	0.044386	4	1.096373	0.053353	0.213412	3.028033	0.40697	1.627881
0.98	0.00732	1	1.033796	0.007823	0.007823	3.915448	0.11222	0.11222
				SUM	1.238342			SUM 25.25238
				Mr0	0.101131			Mr0 2.062278

Sea State
4

			Heave		Scr*SM	Pitch		Scr*SM
W	S	SM	RAO	Scr		RAO	Scr	
6.54	0.002027	1	0.055594	6.27E-06	6.27E-06	0.235758	0.000113	0.000113
3.74	0.014761	4	0.075116	8.33E-05	0.000333	0.2779	0.00114	0.00456
2.51	0.056279	2	0.554128	0.017281	0.034562	3.069751	0.530333	1.060667
1.84	0.14529	4	1.343634	0.2623	1.049199	7.006258	7.131948	28.52779
1.44	0.235108	2	1.358333	0.43379	0.86758	5.177873	6.303324	12.60665
1.17	0.242867	4	1.096373	0.291934	1.167738	3.028033	2.226843	8.907372
0.98	0.141955	1	1.033796	0.151712	0.151712	3.915448	2.176269	2.176269
				SUM	3.27113			SUM 53.28342
				Mr0	0.267142			Mr0 4.351479

LAMPIRAN C

RMS (ROOT MEAN SQUARE)

Data from Spectrum Respons

v = 0 Knot

Hs (m)		Posisi A (1.5T)		Posisi B (1T)		Posisi C (0.75T)		Tanpa Foil	
		Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch
Sea State 1	0.545	0.015	0.091	0.012	0.054	0.014	0.050	0.014	0.048
Sea State 2	1.125	0.148	0.694	0.150	0.584	0.138	0.490	0.169	0.640
Sea State 3	1.602	0.338	1.420	0.334	1.206	0.298	1.017	0.372	1.454
Sea State 4	2.249	0.631	2.313	0.594	1.875	0.574	1.618	0.675	2.486

v= 22 Knot

Hs (m)		Posisi A (1.5T)		Posisi B (1T)		Posisi C (0.75T)		Tanpa Foil	
		Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch	Heave	Pitch
Sea State 1	0.545	0.009	0.067	0.012	0.051	0.012	0.045	0.012	0.067
Sea State 2	1.125	0.123	0.775	0.127	0.674	0.146	0.653	0.160	0.804
Sea State 3	1.602	0.260	1.384	0.265	1.239	0.296	1.170	0.318	1.436
Sea State 4	2.249	0.456	1.971	0.460	1.844	0.499	1.674	0.517	2.086

LAMPIRAN D

RAO (*RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR*) ANSYS AQWA

Hasil Running Aqwa

Posisi	Heave (m/m)		Pitch (°/m)	
Posisi A (1.5T)	0.1	0.999954998	0.1	6.97E-02
	0.30526	0.996182978	0.30526	0.54416512
	0.51053	0.969994605	0.51053	1.501630323
	0.71579	0.883819699	0.71579	2.806657065
	0.92105	0.686334312	0.92105	4.098951908
	1.12632	0.36982435	1.12632	4.613840169
	1.33158	6.28E-02	1.33158	3.427706102
	1.53684	0.098306268	1.53684	1.319496391
	1.74211	6.45E-02	1.74211	0.905094834
	1.94737	1.41E-02	1.94737	0.65011256
	2.15263	0.010538655	2.15263	0.135524227
	2.35789	1.35E-02	2.35789	0.12050412
	2.56316	6.01E-03	2.56316	0.107510779
	2.76842	3.72E-03	2.76842	1.95E-02
	2.97368	1.69E-03	2.97368	1.01E-02
	3.17895	1.22E-03	3.17895	1.83E-02
	3.38421	2.60E-04	3.38421	9.51E-03
	3.58947	7.01E-04	3.58947	1.36E-02
	3.79474	2.31E-04	3.79474	4.92E-03
	4	3.61E-04	4	4.91E-03

Posisi B (1T)	0.1	0.999949574	0.1	6.97E-02
	0.30526	0.996176124	0.30526	0.544154501
	0.51053	0.969955742	0.51053	1.501390946
	0.71579	0.884069741	0.71579	2.803909194
	0.92105	0.688543677	0.92105	4.084319935
	1.12632	0.375032157	1.12632	4.596800554
	1.33158	6.62E-02	1.33158	3.452958166
	1.53684	9.61E-02	1.53684	1.342219577
	1.74211	6.45E-02	1.74211	0.915473413
	1.94737	1.60E-02	1.94737	0.669913118
	2.15263	1.03E-02	2.15263	0.140106937
	2.35789	1.41E-02	2.35789	0.117776447
	2.56316	5.79E-03	2.56316	0.110455305
	2.76842	3.81E-03	2.76842	1.84E-02
	2.97368	1.78E-03	2.97368	9.84E-03
	3.17895	1.28E-03	3.17895	1.86E-02
	3.38421	2.76E-04	3.38421	1.01E-02
	3.58947	6.91E-04	3.58947	1.39E-02
	3.79474	2.12E-04	3.79474	5.07E-03
	4	3.78E-04	4	4.54E-03
Posisi C (0.75T)	0.1	0.99994868	0.1	6.97E-02
	0.30526	0.996196151	0.30526	0.544164373
	0.51053	0.97014308	0.51053	1.501677387
	0.71579	0.884598374	0.71579	2.807525993
	0.92105	0.688624561	0.92105	4.10812101
	1.12632	0.373017192	1.12632	4.657304931
	1.33158	0.06101913	1.33158	3.501889214
	1.53684	9.89E-02	1.53684	1.341841569
	1.74211	6.39E-02	1.74211	0.924718501
	1.94737	1.85E-02	1.94737	0.675006091
	2.15263	9.87E-03	2.15263	0.147161668
	2.35789	1.46E-02	2.35789	0.110855344
	2.56316	5.73E-03	2.56316	0.111663081
	2.76842	3.86E-03	2.76842	1.81E-02
	2.97368	1.84E-03	2.97368	9.49E-03
	3.17895	1.36E-03	3.17895	1.86E-02
	3.38421	2.97E-04	3.38421	1.06E-02
	3.58947	6.97E-04	3.58947	1.44E-02
	3.79474	1.86E-04	3.79474	5.16E-03
	4	3.89E-04	4	3.76E-03

Tanpa Foil	0.1	0.999948263	0.1	6.97E-02
	0.3	0.996424675	0.3	0.525609257
	0.5	0.972299218	0.5	1.44193543
	0.7	0.893546522	0.7	2.69469447
	0.9	0.71341753	0.9	3.948636946
	1.1	0.416545808	1.1	4.517211348
	1.3	0.105860621	1.3	3.566568971
	1.5	7.84E-02	1.5	1.58962461
	1.7	8.10E-02	1.7	0.811752401
	1.9	3.57E-03	1.9	0.789835018
	2.1	1.52E-02	2.1	0.123591446
	2.3	9.88E-03	2.3	0.180898988
	2.5	8.72E-03	2.5	0.096345908
	2.7	4.73E-03	2.7	4.93E-02
	2.9	7.55E-04	2.9	2.91E-02
	3.1	1.06E-03	3.1	2.14E-02
	3.3	9.21E-04	3.3	8.84E-03
	3.5	6.04E-04	3.5	3.99E-03
	3.7	6.07E-04	3.7	2.57E-03
	3.9	2.64E-04	3.9	2.04E-03
	4.1	2.97E-04	4.1	1.33759170527267E-

Hasil Running Aqwa Untuk 22 Knot

Posisi	Heave (m/m)		Pitch (°/m)	
Posisi A (1.5T)	0.1	1.04896545	0.1	3.47216487
	0.30526	0.85069954	0.30526	5.04320763
	0.51053	0.74766946	0.51053	3.39326957
	0.71579	0.89499879	0.71579	4.2239179
	0.92105	1.14151049	0.92105	6.80087827
	1.12632	0.49709392	1.12632	4.00775778
	1.33158	7.80E-02	1.33158	0.74422659
	1.53684	3.51E-02	1.53684	0.35558472
	1.74211	9.26E-03	1.74211	8.54E-02
	1.94737	9.31E-03	1.94737	0.07488054
	2.15263	3.70E-03	2.15263	5.56E-02
	2.35789	2.76E-03	2.35789	4.42E-02
	2.56316	2.74E-03	2.56316	2.65E-02
	2.76842	1.71E-03	2.76842	2.17E-02
	2.97368	1.26E-03	2.97368	1.51E-02
	3.17895	1.13E-03	3.17895	1.17E-02
	3.38421	1.00E-03	3.38421	8.08E-03
	3.58947	6.09E-04	3.58947	7.13E-03
	3.79474	4.51E-04	3.79474	5.84E-03
	4	3.87E-04	4	0.00411704
Posisi B (1T)	0.1	1.04800558	0.1	3.38899899
	0.30526	0.85747242	0.30526	5.04284179
	0.51053	0.74840707	0.51053	3.40530756
	0.71579	0.89323092	0.71579	4.24854842
	0.92105	1.14413631	0.92105	6.91584017
	1.12632	0.49021459	1.12632	3.97168115
	1.33158	7.65E-02	1.33158	0.73329893
	1.53684	3.36E-02	1.53684	0.35786749
	1.74211	9.06E-03	1.74211	7.21E-02
	1.94737	8.17E-03	1.94737	0.08441289
	2.15263	3.55E-03	2.15263	5.33E-02
	2.35789	2.30E-03	2.35789	0.03789723
	2.56316	2.76E-03	2.56316	2.23E-02
	2.76842	2.47E-03	2.76842	1.17E-02
	2.97368	0.0011028	2.97368	1.23E-02
	3.17895	1.17E-03	3.17895	1.11E-02
	3.38421	6.69E-04	3.38421	6.57E-03
	3.58947	4.82E-04	3.58947	5.40E-03
	3.79474	3.29E-04	3.79474	4.01E-03
	4	3.71E-04	4	3.16E-03

Posisi C (0.75T)	0.1	1.04990089	0.1	3.53411575
	0.30526	0.84880704	0.30526	5.04807457
	0.51053	0.7466855	0.51053	3.40616283
	0.71579	0.89427394	0.71579	4.25798945
	0.92105	1.15037811	0.92105	6.96717118
	1.12632	0.48416722	1.12632	3.88722501
	1.33158	7.75E-02	1.33158	0.73921478
	1.53684	3.21E-02	1.53684	0.35691004
	1.74211	1.03E-02	1.74211	5.83E-02
	1.94737	8.23E-03	1.94737	8.40E-02
	2.15263	3.26E-03	2.15263	5.07E-02
	2.35789	2.11E-03	2.35789	3.62E-02
	2.56316	2.56E-03	2.56316	2.07E-02
	2.76842	0.00141148	2.76842	1.48E-02
	2.97368	9.05E-04	2.97368	9.81E-03
	3.17895	1.21E-03	3.17895	9.82E-03
	3.38421	5.00E-04	3.38421	4.34E-03
	3.58947	3.85E-04	3.58947	2.27E-03
	3.79474	1.72E-04	3.79474	1.98E-03
	4	2.71E-04	4	0.00193933
Tanpa Foil	0.1	1.04857707	0.1	3.5694528
	0.3	0.85096037	0.3	5.11838197
	0.5	0.74420434	0.5	3.39507018
	0.7	0.87829071	0.7	4.06938914
	0.9	1.10833609	0.9	6.30908757
	1.1	0.68994612	1.1	5.2600465
	1.3	9.43E-02	1.3	0.90927672
	1.5	4.57E-02	1.5	0.42641653
	1.7	7.04E-03	1.7	0.16479236
	1.9	0.01200723	1.9	5.53E-02
	2.1	6.85E-03	2.1	7.49E-02
	2.3	3.43E-03	2.3	5.30E-02
	2.5	3.61E-03	2.5	3.35E-02
	2.7	2.58E-03	2.7	2.95E-02
	2.9	1.69E-03	2.9	0.02145994
	3.1	1.47E-03	3.1	1.54E-02
	3.3	1.16E-03	3.3	1.26E-02
	3.5	8.96E-04	3.5	0.01005485
	3.7	6.46E-04	3.7	7.91E-03
	3.9	5.64E-04	3.9	4.63E-03
	4.1	1.30E-04	4.1	5.45E-03

BIODATA PENULIS



Marshall Boazyunus Manurung, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 19 Maret 1995 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Mardi Yuana, kemudian melanjutkan ke SD Regina Pacis, SMP Regina Pacis dan SMAN 6 Bogor. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SBMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi koordinator Pengembangan Kompetensi PMK ITS 2016/2017, Koordinator Publengdekdok PKMBK-PMK ITS serta *staff* Departemen Hubungan Luar HIMATEKPAL 2015/2016.

Email: marshallbzyns@gmail.com